

ISSN 1344-896X

令和 2 年度

岐阜県生活技術研究所研究報告

REPORTS OF THE GIFU PREFECTURAL
RESEARCH INSTITUTE FOR HUMAN LIFE TECHNOLOGY

No.23

2021

岐阜県生活技術研究所

岐阜県生活技術研究所研究報告 目次

試験研究部 研究報告

家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化（第4報） 曲げ木に適した状態判定	・ ・ ・ ・ ・ 石原智佳・三井勝也 成瀬哲哉	1
木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用 （第1報）画像解析を用いたトラフの定量化の基礎検討	・ ・ 山口穂高・藤巻吾朗 宮川成門・仲村匡司	6
介護ニーズに基づくポジショニング用品の開発（第2報） クッションの試作と材料の選択	・ ・ ・ ・ ・ 宮川成門・藤巻吾朗 山口穂高	13
木材乾燥における芳香蒸留水の有用成分利用（第1報） 芳香蒸留水の精油量について	・ ・ ・ ・ ・ 伊藤国億・額額正憲	18
中小企業向け生産現場支援IoTシステムの開発（第2報）	・ ・ ・ ・ ・ 成瀬哲哉	23
木材の触覚特性の数値化と手触り感に関する指針の提案 木材の触感と印象評価に関するパス解析	（第2報）・藤巻吾朗・山口穂高 宮川成門・山崎直樹 吉田宏昭	26
家具製造現場におけるトレーサビリティ基盤技術の開発 OpenCV. jsを用いた画像認識による棚卸支援Webアプリケーションの開発	（第2報）・森茂智彦・藤巻吾朗	31
国産早生樹種の用材利用に向けた材質・加工特性の解明 国産早生樹種の利用用途の提案	（第2報）・村田明宏・長谷川良一 沼澤洋子・森 順子	37
超撥水処理による木材の耐水性向上 シランカップリングによるセルロースの撥水処理	（第1報）・ ・ ・ ・ ・ 三井勝也・伊藤国億	43

幅接ぎ板の反り変形抑制技術の開発に関する研究（第1報）・・・・・・今西祐志 年輪に着目した幅接ぎ構成手法の提案	46
実大投影画像を用いた木製天板の色合わせ指針の検討・・・・・・山口穂高・藤巻吾朗 吉田宏昭	50

家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化（第4報） 曲げ木に適した状態判定

石原智佳*, 三井勝也*, 成瀬哲哉*

Approaches to Making Smart of the Wood Bending Process (IV) Condition Judgment Suitable for Bending Wood

ISHIHARA Chika*, MITSUI Katsuya*, NARUSE Tetsuya*

曲げ木加工において、部材厚さ、曲げ半径、帯鉄条件を指定することで、曲げの可否を判定するプログラムを作成した。本プログラムで重要な材条件が、蒸煮処理直後の静的曲げヤング率である。この静的曲げヤング率と相関性があるといわれている動的ヤング率は、非破壊式でかつ短時間で測定可能な値であり、本プログラムへの利用の可能性を検討した。

縦振動法から得られる動的ヤング率と静的値には数%程度の差で相関性があるとの報告であったが、本研究から、蒸煮処理直後の材では、両値に大きな差がみられた。蒸煮による含水率増加が、材内で傾斜していることが要因であると考えられる。

1. 緒言

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、1920年頃から伝わる伝統技術「曲げ木」を用いる特徴がある。曲げ木は、木材が水分を多く含んだ高温の状態になると軟化して曲がりやすくなる性質を活かしたものであり、軟化処理は水蒸気で蒸す蒸煮法が一般的である。蒸煮した木材に帯鉄と呼ばれる金属を当てて曲げ、型にはめたまま乾燥させて形状を固定し、曲げ木は作られる。

蒸煮直後の材は高含水率・高温状態にあり、気乾状態より曲げ弾性率が低下する。この低下具合が曲げ木の良否に影響する。そこで、この数値を利用する「曲げ木の可否判定プログラム」を作成し、前報¹⁾で報告した。

木材の曲げヤング率は、曲げ試験から算出する方法が一般的であるが、破壊試験であり、同一試験体で異なる状態の値を比較できない。一方、振動試験から求められる動的ヤング率は静的な曲げヤング率と比べて5~10%程度高い値を示すものの、両値には相関性がある²⁾といわれている。

そこで、本研究では、曲げ木の可否判定プログラムに動的ヤング率を利用し、短時間で簡易に曲げの良否を判断するための検討を行った。

2. 実験方法

2.1. 供試材料

樹種は、家具に多く用いられるブナ、ミズナラ、ホウソクオーク、ウォルナットとし、人工乾燥した板材を所定の寸法に調製した。

2.2. 縦振動試験

振動試験の様子を図1に示す。試験体は、励起された自由振動に影響を及ぼさないようにスポンジで支持し、一方の木口面から3mm程度離してマイクロホン（リオン製 1/2インチエレクトレットマイクロホン UC-59）を置き、反対側の木口面を小型の木製パチで軽くたたく。マイクロホンで収集した音をFFTアナライザ（リオン製 多機能計測システムSA-A1）で計測し、共振周波数を特定した。動的ヤング率は式 (1) により算出する。

$$E_f = (2Lf_0)^2 \rho / 10^{12} \quad [\text{GPa}] \quad \dots (1)$$

ここで、 E_f は動的ヤング率 (GPa)、 L は試験体長さ (mm)、 f_0 は共振周波数 (Hz)、 ρ は試験体密度 (g/cm^3) である。

また、FFTアナライザの設定条件を表1に示す。得られるパワースペクトルの一例を図2に示す。ここでは4つのピークが見られ、各ピークの周波数は図3のように数値として把握できる。最もピーク値

* 試験研究部

が高い周波数を共振周波数とする。

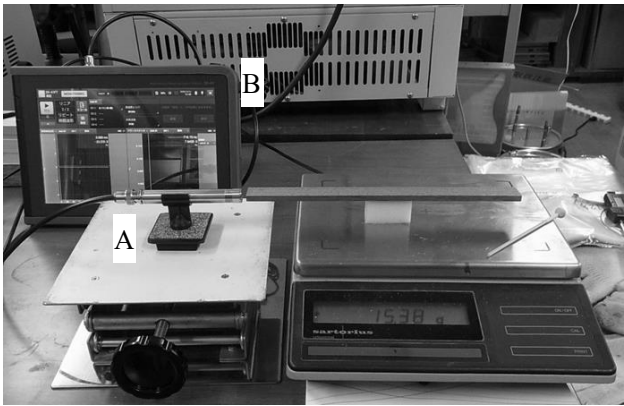


図1 振動試験の様子
A：マイクロホン、B：FFTアナライザ

表1 FFTアナライザの設定条件

測定設定	
入力レンジ	0.1V
周波数レンジ	20kHz
分析点数	2048
窓関数	レクタングュラ
平均方法	リニア
平均回数	2回
トリガ設定	
モード	リピート
ソース	時間波形
リピート回数	2回
スロープ	+
ポジション	-512
波形レベル	-99.9%

2.3. 曲げ試験

静的曲げヤング率は油圧式万能試験機（島津製作所社製UH-100KNC）による曲げ試験の荷重-たわみ曲線に基づき、式 (2) により算出する。

$$E = \frac{\Delta Pl^3}{48I\Delta y} \quad [\text{GPa}] \quad \dots (2)$$

ここで、 E は静的ヤング率 (GPa)、 ΔP は比例域における上限荷重と下限荷重との差 (kN)、 Δy は ΔP に対応するスパン中央のたわみ (mm)、 l はスパン (mm)、 I は断面2次モーメント (mm⁴)、すなわち、 $I=bh^3/12$ である。

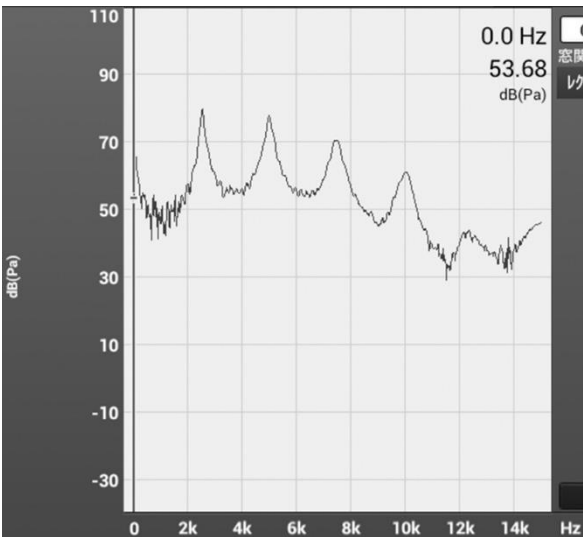


図2 縦振動試験から得られる
パワースペクトルの一例

No	周波数	dB(Pa)
1	2525.0 Hz	79.96
2	4975.0 Hz	77.86
3	50.0 Hz	73.64
4	7425.0 Hz	70.65
5	7475.0 Hz	70.63
6	5350.0 Hz	64.54
7	2225.0 Hz	62.98
8	2900.0 Hz	62.18
9	2950.0 Hz	61.44
10	10025.0 Hz	61.30

図3 パワースペクトルの各ピーク値

2.4. 蒸煮処理

曲げ木加工の前処理として、木材を水蒸気で蒸す蒸煮処理を行う。小試験体であれば調理用蒸し鍋器を用い、長軸材の場合は実大材サイズのステンレス製蒸煮釜（図4）に水蒸気を送り込む。



図4 水蒸気発生装置及び蒸煮釜

3. 結果

3.1. 縦振動試験

ブナ、ミズナラ、ホワイトオーク、ウォルナットの気乾状態における縦振動試験結果を表2に示す。なお、試験体寸法は幅28mm×高さ28mm×長さ765mmとした。

表2 縦振動試験結果1
気乾状態 長軸材

	気乾重量 (g)	気乾含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	共振周波数 (Hz)	ヤング率 (GPa)
ブナ	432	11.9	0.72	3125	16.5
ミズナラ	448	12.5	0.75	2700	12.7
ホワイトオーク	482	9.9	0.80	3050	17.5
ウォルナット	390	9.4	0.65	3150	15.1

次に、試験体寸法の影響を確認するため、小試験体に対して同様の検討を行った結果を表3に示す。なお、試験体寸法は幅20mm×高さ5mm×長さ240mmとした。

表3 縦振動試験結果2
気乾状態 小試験体

	気乾重量 (g)	気乾含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	共振周波数 (Hz)	ヤング率 (GPa)
ブナ	17.7	11.1	0.74	9887.5	16.6
ミズナラ	18.2	10.6	0.76	10406	18.9
ホワイトオーク	16.6	9.8	0.69	9975	15.9
ウォルナット	13.9	10.1	0.58	10287	14.1

試験体サイズによる差はミズナラで大きく見られた以外はほぼ同等の値となった。縦振動法では、一つの試験体内の平均的な動的ヤング率を評価する²⁾との説明もあり、含水率差以外にも、固体内にヤング率を高めた何らかの因子があったことも考えられるが、他の形状も用意し、今後さらに検討する。

次に、表3に示した同一の試験体を用いて、動的ヤング率への温度・水分の影響を調べた。条件として、気乾状態（①）、試験体をラップに包み蒸すことで、低含水率・高温度状態にしたもの

（②）、ラップをせずに蒸すことで、高含水率・高温度状態にしたもの（③）、最後に、蒸し後に常温まで下げ、高含水率・低温度状態にしたもの（④）に調製した。なお、蒸煮は蒸し鍋器で行った。結果を表4に示す。

表4 縦振動試験結果3
含水率・温度状態別 小試験体

		含水率 [%]	共振周波数 [Hz]	ヤング率 [GPa]
ブナ	①気乾 低含水率 常温	11.1	9888	16.6
	②ラップ蒸し 低含水率 高温	11.1	9425	15.1
	③蒸し直後 高含水率 高温	18.0	8656	13.5
	④蒸し後冷却 高含水率 常温	16.8	9369	15.6
ホワイトオーク	①	9.8	9975	15.9
	②	9.8	9444	14.2
	③	16.3	8650	12.6
	④	15.9	9463	15.1
ミズナラ	①	10.6	10406	18.9
	②	10.6	10025	17.5
	③	20.0	9375	16.2
	④	19.2	9956	18.1
ウォルナット	①	10.1	10288	14.1
	②	10.1	9838	12.9
	③	17.2	9056	11.6
	④	16.4	9725	13.3

いずれの樹種においても、水分・温度状態とヤング率の関係は同じ傾向を示した。すなわち、気乾状態で最も高く、温度だけを高くした条件②では、気乾状態よりもやや低下し、蒸煮処理直後は

最も低くなり、蒸し後に冷却すると、条件②の状態よりも含水率は高いが、熱軟化の影響が消えてしまうためにヤング率が高まると考えられる。したがって、曲げ木加工では温度低下が曲げ不良に影響するといえ、加工時の温度管理が大切である。

3.2. 動的ヤング率と静的曲げヤング率

表4で示した試験体について、縦振動試験を行ってすぐに曲げ試験を行った。曲げ試験の際の荷重負荷を弾性領域内にとどめ、塑性変形が残らないようにすることで、同一試験体を用いて両者の数値を温度・水分状態別に比較することができた。結果を表5に示す。

両ヤング率を比較すると、ほぼ同等か、数%～10%程度、動的値のほうが大きくなる傾向がみられ、これまでの報告と類似傾向にある。しかし、ヤング率自体が高い傾向にある。

そこで、試験体サイズの影響を調べるため、表2に結果を示したものと同一固体を蒸煮処理した直後の静的曲げ試験の結果を表6に示す。なお、試験体サイズは幅28mm×高さ28mm×長さ765mmである。

表5と表6の結果から、静的曲げヤング率には、試験体の大きさによると思われる差がみられる。しかし、動的ヤング率の低下はそこまででない。むしろ、試験体が大きい方が、両ヤング率の差が開きすぎているように思われる。これは、試験体が大きいほど蒸煮処理による含水率増加が材表面でとどまってしまっているため、全体的な平均値を評価する縦振動法では、材内部の低含水率領域である高いヤング率を評価していると考えられる。

従来の報告による「動的ヤング率は静的な曲げヤング率と比べて5～10%程度高い値を示す」という解釈は、水分状態が同じ気乾状態の材料についてはあてはまるが、蒸煮直後の水分量が材全体で一様でない状態ではあてはまらないとも考えられる。あるいは、より大きな差として相関性があることも推察される。

動的ヤング率を曲げ加工の指標に用いるには、水分状態が両ヤング率値に及ぼす影響をさらに精査する必要がある。

表5 動的ヤング率と静的曲げヤング率の比較
含水率・温度状態別 小試験体

		動的 ヤング率 [GPa]	静的曲げ ヤング率 [GPa]	動的/ 静的 (比)
ブナ	①気乾 低含水率 常温	16.6	15.9	1.04
	②ラップ蒸し 低含水率 高温	15.1	14.0	1.08
	③蒸し直後 高含水率 高温	13.5	13.7	0.99
	④蒸し後冷却 高含水率 常温	15.6	15.3	1.02
ホワイトオーク	①	15.9	14.4	1.10
	②	14.2	13.8	1.03
	③	12.6	12.9	0.98
	④	15.1	15.4	0.98
ミズナラ	①	18.9	17.5	1.08
	②	17.5	16.1	1.09
	③	16.2	14.0	1.16
	④	18.1	17.5	1.03
ウォルナット	①	14.1	13.6	1.04
	②	12.9	12.0	1.08
	③	11.6	11.8	0.98
	④	13.3	12.7	1.05

表6 動的ヤング率と静的曲げヤング率の比較
蒸煮直後の状態 長軸試験体

	蒸煮後 含水率 (%)	共振 周波数 (Hz)	動的 ヤング率 (GPa)	静的 ヤング率 (GPa)
ブナ	24	2475	11.5	6.1
ホワイトオーク	18	2525	12.9	7.9
ミズナラ	24	2050	8.2	4.8
ウォルナット	20	2475	10.2	7.6

4. まとめ

木材の曲げ木加工において重要なことは、引張側の伸び変形を引張限界以下に抑制することであり、材厚さと曲げ半径の関係から必要な帯鉄厚さの条件を導くこと、あるいは、曲げ可能な材厚さと曲げ半径の関係を導くことを可能にする「曲げ木の可否判定プログラム」を昨年度作成し報告した。このプログラムで判定指標に利用する静的曲げヤング率を簡易的に導出する手法として、縦振動試験を検討した。縦振動法から得られる動的ヤング率と静的値には数%程度の差で相関性があるとの報告であったが、本研究から、曲げ木の前処理である蒸煮処理を行った直後の材では、両値に大きな差がみられた。蒸煮による含水率増加が、材内で傾斜していることが要因であると考えられる。材内の水分状態と動的ヤング率の関係について今後も検討を続ける。

参考文献

- 1) 石原智佳ほか：家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化，岐阜県生活技術研究所研究報告, No.22, pp.8-11, 2020.
- 2) 構造用木材の強度試験マニュアル：(公財) 日本住宅・木材技術センター, pp.59-63, 2011.

木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用（第1報） 画像解析を用いたトラフの定量化の基礎検討

山口穂高^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}, 宮川成門^{*1}, 仲村匡司^{*2}

Development of Communication Method Presenting Wooden Visual Textures and Application for Furniture (I) Fundamental Study on Quantification of Silber Grain Using Image Analysis

YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, FUJIMAKI Goroh^{*1}, MIYAGAWA Naruto^{*1}, NAKAMURA Masashi^{*2}

近年は家具製品のオンライン販売が盛んになっており、木材の質感を適切に伝達する手法の開発が望まれている。本報告では、無垢の木材ならではの質感の一つであるトラフに着目し、トラフの定量化のための基礎検討として、トラフを検出しやすい画像の撮影条件と画像解析方法を検討した。その結果、トラフは材面の繊維直交方向から投光角45度の照明を当てることで検出しやすいことが確認された。また、トラフ領域を識別するために撮影画像の2値化およびオープニング処理を試みた結果、大津の手法よりもPタイル法の方が撮影条件に対してロバストであり、オープニング処理によってトラフ由来の模様を残しつつ道管などの小さな模様を除外できる可能性が得られた。最後に、得られた2値画像の粒子分析を行った結果、2値領域の面積に関する指標がトラフの定量化に対して有効であることが示唆された。

1. 緒言

経済産業省の統計¹⁾によれば、日本の消費者向け電子商取引市場（インターネット販売など）の規模は、統計を開始した1998年では650億円、電子商取引化率（EC化率）0.02%であったが、2019年には、物販系分野に限っても、10兆515億円、EC化率6.76%と年々進展を続けている。中でも、「生活雑貨、家具、インテリア」製品群のEC化率は23.32%と他の製品群と比較しても高く、インテリア関連製品の買い物の5回に1回以上は電子商取引が活用されていると言える。また、近年はCOVID-19の影響で、外出および人との接触の機会が制限されており、メーカーにおいてはインターネット販売などの電子商取引への対応が必須であると考えられる。

一方で、インターネットを利用した製品販売プロセスにおいては、製品の「イメージ」を伝達する手段は主にデジタル化された写真や動画である。ネット上の写真や動画は世界中のどこからでも閲覧できるというメリットがある一方、製品を直接観察する店舗での販売プロセスよりも、サイズ感

や質感、色合いといった多種多様な「イメージ」を伝達しきれないというデメリットがある。つまり、実製品のイメージと端末に表示されたデジタル画像から受ける印象が一致しないという問題が生じており、例えば繊維製品分野では、布の風合いを適切に伝達するための研究が進められている^{2,3)}。

また、当県の本県家具産業においては、無垢材を高い精度で加工した高級品というブランド価値が認知されている一方で、デジタル画像での情報伝達が主となる販売プロセスにおいては、無垢材ならではの質感を伝達することが難しく、廉価製品との差別化が一層困難になることが危惧される。以上より、本研究では、無垢の木材が持つ質感を適切に伝達する手法の開発とその手法の家具製品への応用を目指す。

本報告では、無垢材の質感の一つとして、家具用材として一般に用いられるナラ材やオーク材に現れることがある虎斑や銀杔と呼ばれる杔⁴⁾（以下、トラフ）に着目した（図1）⁵⁾。トラフはまさ目面に現れた広放射組織が軸方向要素と対比されて銀色や黒色に見える模様であり、無垢の木材特有の視覚的な質感の一つであると言える。このトラフをデジタル画像から定量化することが可能となれば、

^{*1} 試験研究部

^{*2} 京都大学大学院農学研究科

トラフの見え方をデジタル画像で適切に伝達する手法の開発や、トラフが入った材の自動選別などに応用可能であると考えた。

杣の質感を撮影する試みとして、加藤ら⁶⁾は、メイプル材を対象として、材面への入射光の方位角を様々と変化させた写真を撮影し、波状杣の質感を照りの移動として撮影した。この手法は、無垢の木材表面では様々に配向した細胞由来の凹凸に起因する反射の異方性が生じる、という特性を利用している。よって、本研究で対象とするトラフの定量化においても、撮影時の照明の方向が重要であると考えられる。また、外池ら⁷⁾の研究において、トラフの視覚的な特徴が詳細に調べられており、繊維平行入射よりも繊維直交入射の方がトラフと軸方向要素とのコントラストが大きくなり、トラフが視認しやすいと報告されている。しかし、外池らの研究はトラフ部分の反射特性をスポット測定において解明したものであり、材面に現れるトラフの定量化については言及していない。以上より、本研究では、トラフの定量化を企図して、トラフを検出しやすい投光角の探索と定量化のための基礎検討を行った。

2. 実験サンプル

まさ目材として市場に流通していたホワイトオーク (*Quercus alba*) およびレッドオーク (*Quercus rubra*) を各10本準備し、各個体から40×40 mmの試験体を切り出した(図2)。これらの試験体にはトラフ模様が明確に現れているものとそうでないものの両者を含んでいた。なお、表面はプレーナ仕上げ(マキタ、超仕上げカンナ盤)とした。また、本研究では片方のまさ目面を表面と定義し、表面についてのみ、撮影や解析を行った。

3. 撮影条件の探索

3.1 撮影方法

(1) 照明条件

本研究では、照明の条件として、方位角2条件(繊維平行方向、繊維直交方向)、投光角8条件(サンプル表面の法線に対して右側の15度から85度まで10度刻み)を変更し、トラフの検出に適した照明条件を検討した。図3に示すような実験装置を準備し、方位角はサンプルの置き方を90度変えることで、投光角は照明位置を変えることで変化した。照明には一般的な白色LED光源を用いた。

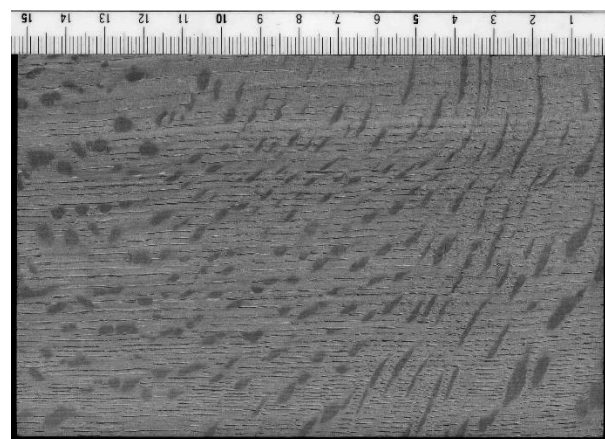


図1 ミズナラに現れたトラフの例⁵⁾

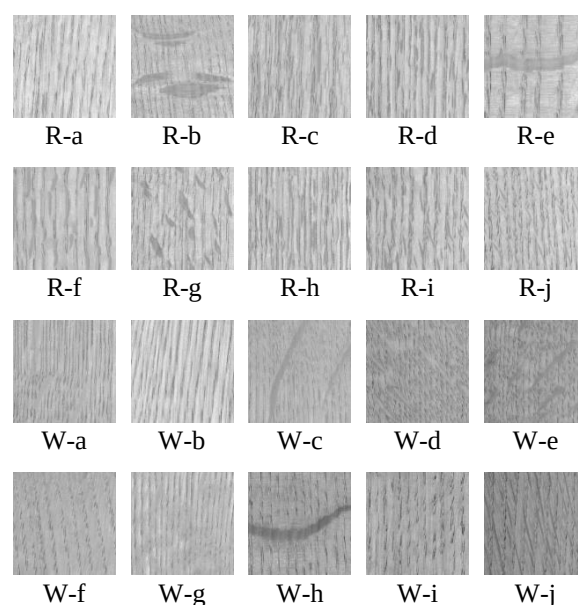


図2 実験サンプル (R: レッドオーク、W: ホワイトオーク、40×40 mm)

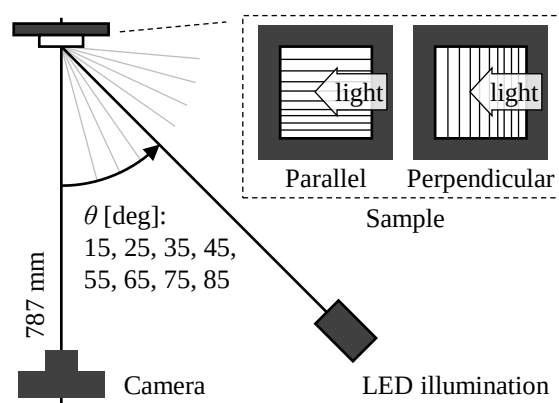


図3 実験装置の概要

(2) 撮影の設定

撮影は外光の影響が十分に無視できる実験室内で行った。デジタルカメラ（株式会社ニコン、D800およびAF-S NIKKOR 28-300 3.5-5.6G）はサンプルに対して造影面が787 mmの位置で平行になるように設置された（図3）。カメラの焦点距離は300 mm、露出の設定は、f/22、シャッタースピード1/3秒、ISO200にそれぞれ設定し、24bitフルカラーのTIFF画像を撮影した。この設定において、撮影画像の解像度は0.0199 mm/pixelであった。また、撮影後の画像は不要な背景をトリミングして1,800×1,800 pixel（約35.8×35.8 mm）のサイズに統一し、NTSC変換⁸⁾にてモノクロ化した画像を供試画像とした。

3.2 画像解析の方法

(1) 2値化

本研究では、材面に出現したトラフを定量化するために、トラフ領域の2値化を試みた。2値化とは、画像を白と黒の2階調（以下、2値画像）へ変換する処理であり、各画素値をあるしきい値を基準として0（黒）か1（白）へ変換する。2値化においては、そのしきい値の決定が重要であるが、本研究では投光角の違いや個体によって画像の明るさが異なるために、しきい値は画像ごとに可変とすること

が適切だと考えられる。そこで、しきい値決定手法として以下の2種類を採用し、その違いを検討した。

大津の手法⁹⁾：分離度と呼ばれる指標が最大となるしきい値を探索する手法。

Pタイル法：2値化で分離したい領域を画像全体に対する割合で指定する手法。本研究では25%をしきい値とした。

なお、後述する図4の通り、トラフ領域が材面の軸方向要素に対して明るく視認されるか、暗く視認されるかは、入射光の方位角によって異なる。そこで本研究では、繊維平行入射条件で撮影した2値画像は白黒反転処理を行い、全ての画像において、トラフ領域がある場合にはその領域が黒と変換されていると想定した。

また、本研究で得られた材面の2値画像には、道管の影などが粒状のノイズとして映り込んでいることが多かったため、事後処理としてモルフォロジー演算（Morphological operation）¹⁰⁾を行った。ここでは、粒状のノイズを除去するために、収縮（Erosion）をn回行った後に膨張（Dilation）をn回行う、オープニング（Opening）を採用した。カーネルサイズは3×3、処理回数nは10とした。

画像解析はOpenCVライブラリを利用した自作のPythonプログラムにて実行した。

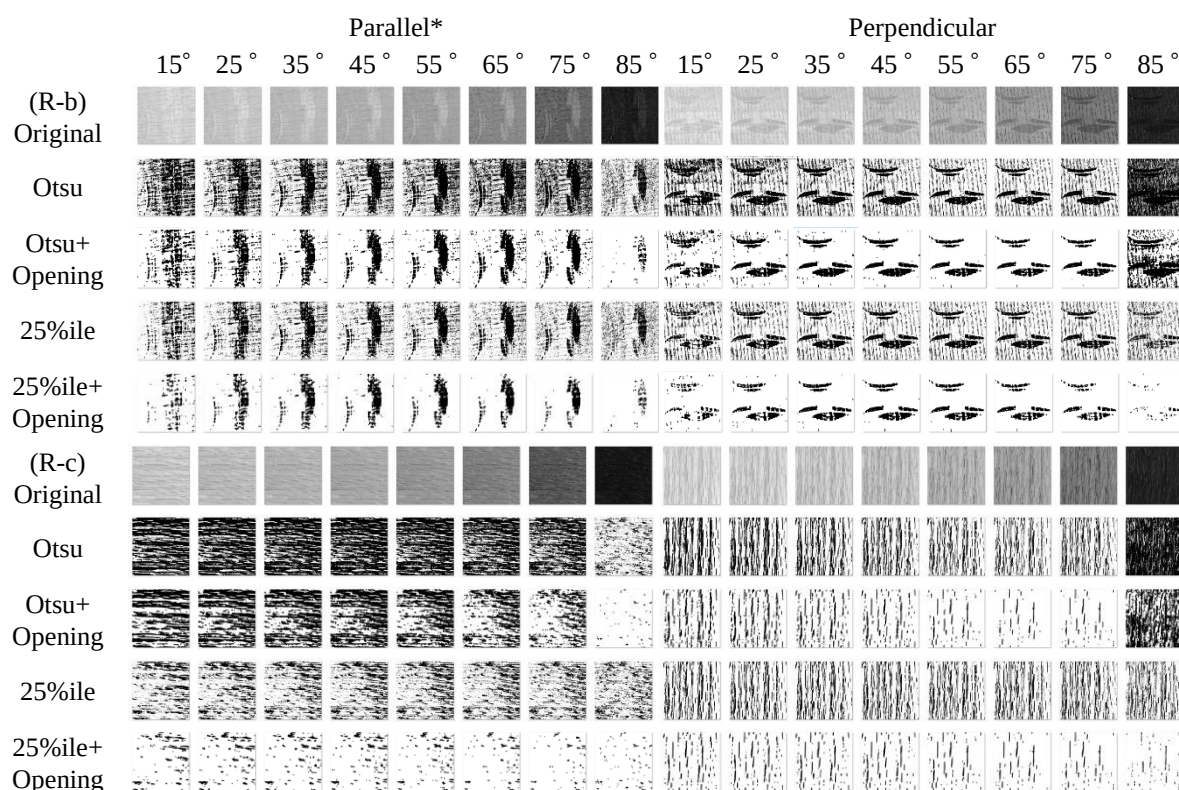


図4 撮影画像と処理後の例
（*繊維平行入射の2値画像は白黒反転処理を適用）

(2) トラフ領域の合否判定

得られた2値化画像がトラフ領域を反映しているかどうかを判断するために、澤田らの手法¹¹⁾を参考に、以下の手順によって教師画像を作成した。まず、各サンプルにおいて、繊維平行入射・投光角45度条件と繊維直交入射・投光角45度条件の画像をタブレット端末 (Microsoft, Surface Pro) と画像処理ソフト (Adobe, PhotoShop CC) を利用して等倍で表示する。その後、木材の基礎的な知識を有する実験者が、画像処理ソフトのレイヤー機能を用いて、トラフだと思われる部分を電子ペンで黒色に塗りつぶした。最後に、背景が白、塗りつぶしたトラフ領域が黒の画像を出力し、教師2値画像とした。

トラフ領域の合否判定は、サンプルの2値画像と教師2値画像とで同じ座標同士の値を比較することを行った。また、その合否の混同行列の結果から見落としの少なさを表す再現率 (Recall)、誤検出の少なさを表す適合率 (Precision)、その両者を加味したF値 (F-measure) を画像全体で算出した¹²⁾。

3.3 結果と考察

照明条件を変更しながら撮影した画像の一例を図4に示す。また、各画像を2値化した結果も合わせて示す。サンプルのモノクロ画像に着目すると、繊維平行入射ではトラフ領域が軸方向要素と対比して明るく撮影され、繊維直交入射では、その反対に、トラフ領域が暗く映っていることが観察される。これは、増田ら¹³⁾の木材表面における光反射の模式図から説明することができる。細胞の軸方向と平行な入射光は正反射成分の割合が大きくなるために、正反射方向から観察した場合は極端に明るく、それ以外の方向から観察した場合は暗く視認される。また、細胞の軸方向と直交する入射光は散乱反射する割合が増え、どの方向から観察しても同じような明るさで視認される。つまり、軸方向要素とトラフ模様である広放射組織では細胞の配列方向が直交しているために、上記の軸方向と入射光の方向による反射特性の違いが組み合わさり、繊維平行方向に照らされた材面ではトラフ領域が明るく視認され、繊維直交方向に照らされた材面ではトラフ領域が暗く視認されることとなる。

また、2値画像のOpening処理前後を比べると、処理前は孔圏付近の陰影が黒領域として多く残っているが、これらがオープニング処理によってある程度消失していることが確認できる。しかし、トラフが明確に表れていない画像においては、黒領域の面積が大きく、Opening処理で消し切れていないものもあった。本研究ではOpening処理のパラメータをカーネルサイズ3×3、繰り返し回数10回とし

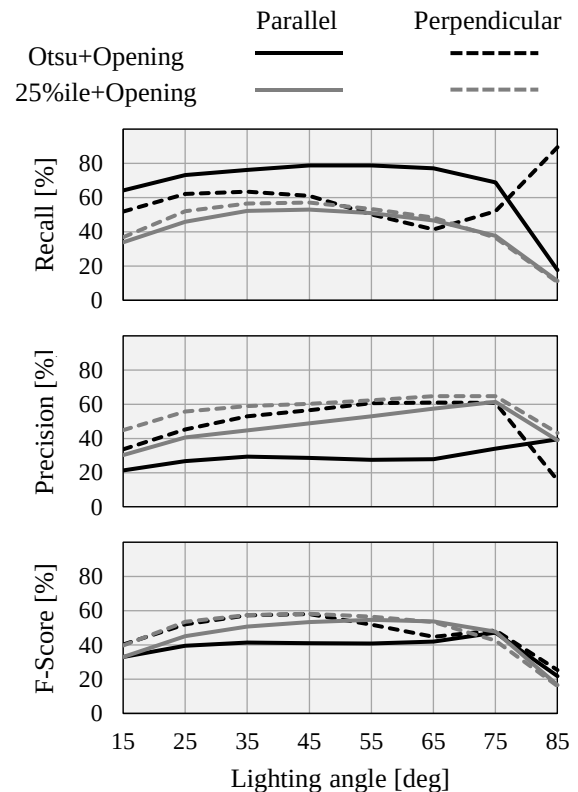


図5 トラフ領域検出の合否判定
(平均値、n=20)

たが、画像の解像度や対象樹種において孔圏の幅はまちまちであるために、これらのパラメータの最適化は今後の課題である。

続いて、合否判定の各指標について20サンプルの平均値を求めたグラフを図5に示す。

まず、大津の手法の結果に着目すると、繊維平行入射条件の各結果および繊維直交入射条件・投光角75度以上の結果において、Recallが高く、Precisionが低い。これは、トラフ領域の誤検出が多いことを示す。これらの条件を図4で確認すると、いずれも、画像全体が暗く映っていることが確認できる。大津の手法はヒストグラム形状の分離度を判断基準としてしきい値を自動で判別する手法であるために、分離後の明暗の領域の割合は動的となる。したがって、そもそも画像全体に暗い領域が多い画像では、多くの領域が黒色化され、結果的にトラフ領域の誤検出が増えたと考えられる。一方で、Pタイル法はもとの画像内の明暗の割合にかかわらず、指定の割合 (本研究では25%) で相対的に暗い領域を黒色化する。そのため、繊維直交入射と繊維平行入射の各値の変化傾向に大きな違いは見られなかった。このことから、大津の手法を様々な照明条件で撮影された画像に対して一概に用いること

は難しいが、Pタイル法は照明条件に対してロバストなトラフ検出が可能になると考えられる。一方で、本研究では25%点をしきい値に用いたが、このパラメータの最適化は課題として残る。また、本研究の撮影条件では、サンプルサイズが小さいために、図4の2値画像のように画像内の照明の不均一さ（シェーディング）は無視できるレベルであったが、サンプルサイズや撮影装置によっては、シェーディングの影響を低減できる局所的な2値化手法を検討する必要もあると考えられる。

続いて、Pタイル法の結果に着目して、入射角の方向の違いを考察する。まず、繊維直交入射条件では、投光角45度においてF-measureの値がピークを示しており、投光角45度がトラフの検出に最も優れている投光条件であると言える。また、45度よりも小さな投光角ではRecallが高くなる傾向があり、45度よりも大きな投光角ではPrecisionが高くなる傾向がある。つまり、できるだけトラフ領域を見落としたくない場合は、投光角を45度よりも小さくする方がよく、できるだけトラフ領域のみを抽出したい場合は投光角を45度よりも大きくする方がよいと言える。繊維平行入射条件のF-measureは、全体的に繊維直交条件に劣るが、投光角65度においてピークを示した。これは、外池らが先行研究⁷⁾で示した、繊維平行入射ではトラフを視認しにくい、投光角が鈍角になるとトラフ領域がやや明るく見えるとの考察と対応する。以上の結果より、トラフを検出するための照明条件としては、繊維直交入射条件の投光角45度が最も良いと考えられた。

4. トラフの定量化の基礎検討

4.1 解析方法

前章の実験により得られた、繊維直交入射・投光角45度条件の撮影画像を用いて、トラフの定量化の基礎的検討を行った。なお、ここでは上記条件で撮影された画像をPタイル法（25%）で2値化し、Opening（カーネルサイズ3×3、n=10）を行った画像20枚を用いた（図6）。

本報告では、トラフの定量化の基礎的な検討として、黒色化された領域の面積や数を求める粒子分析を行った。ここで、トラフの模様を粒子として考えた場合、一つ一つの粒子のサイズが大きく、かつ、大量に入っているほどトラフ模様が豊富な材であると仮定できる。そこで、粒子分析では黒色領域の最大面積と平均面積を画像ごとに算出した。

画像解析は前章と同様にOpenCVライブラリを利用した自作のPythonプログラムにて実行した。

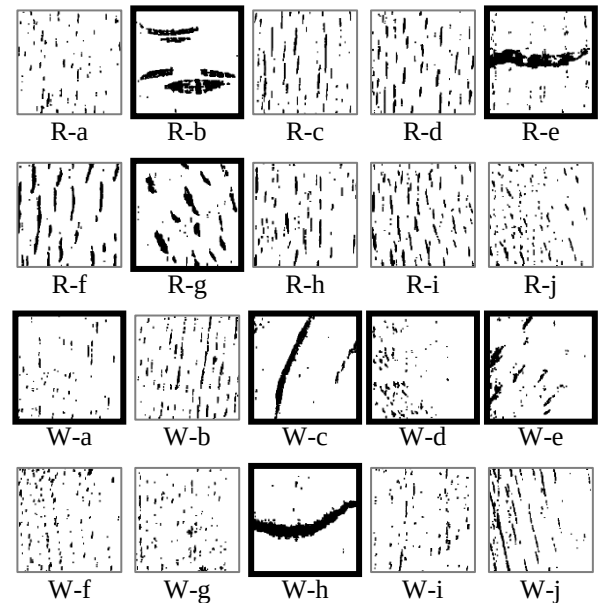


図6 トラフの定量化に用いた2値画像
（繊維直交入射・投光角45度条件にて撮影、Pタイル法およびOpening処理を適用、教師画像作成時にトラフ領域を塗ったサンプルを太線で囲った）

4.2 結果と考察

図7に黒色領域の最大面積と平均面積を軸として各サンプルをプロットした結果を示す。この結果より、トラフが現れている画像は両値の上位側に集まる傾向があり、粒子分析の面積に関するパラメータを用いることで、トラフの定量化ができる可能性が示唆された。しかし、R-fのように広放射組織がトラフ様ではなく斑点状に濃く表れているサンプルが両値の上位側にあったり、W-aおよびW-dのようにトラフが現れていてもうまく2値化されていなかったりと、最大面積および平均面積のみではトラフが出現しているサンプルを完全には分離できなかった。以下に、これらの課題を解決する方法を考察する。

まず、典型的なトラフ模様とは、軸方向の木目模様と直交するように広放射組織が織りなす模様であると考えられる。つまり、よりトラフらしい模様とは、円形に近い模様ではなく、繊維直交方向に長軸を持つ帯状の模様であると考えられる。したがって、本研究で用いた粒子の面積に関するパラメータのみでなく、方向と寸法の情報を考慮することが有効であると考えられる。

また、W-aとW-dの繊維直交入射・投光角45度条件の撮影画像と投光角を反転させた-45度条件の撮影画像を図8に示す。この図のように、今回の撮影手法でトラフ領域の2値化がうまくいかなかった

サンプルは、同じ投光角度の繊維直交方向の照明であっても、樹心側からの投光か否かで、トラフ領域の明暗が反転するサンプルであることが分かった。また、そのトラフ領域の形状は、木目模様には直交するという典型的な形状ではなく、斜めや縦方向である。これらの模様も捕捉するためには、本報告のような、1方向の照明で撮影した画像のみでなく、多方向からの照明条件で撮影した画像情報を統合して解析する手法が有効だと考えられる。

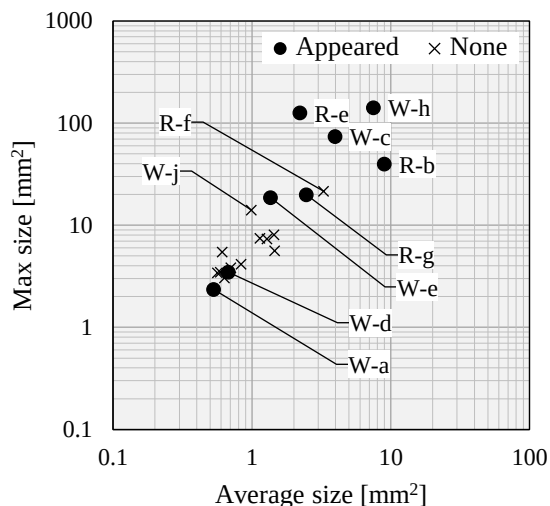


図7 粒子分析の結果

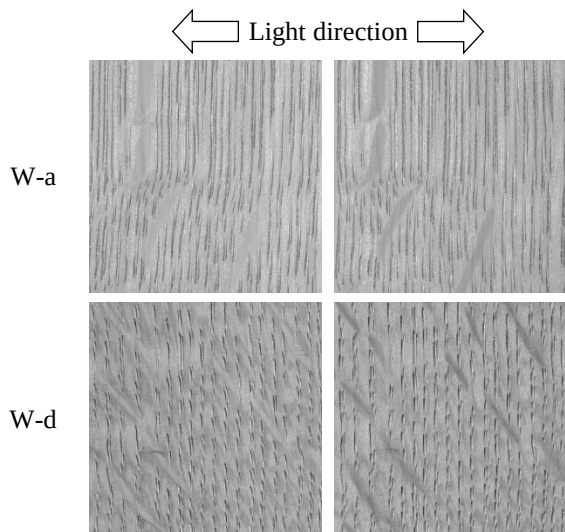


図8 繊維直交方向の照明を反転させた際に見える異なるサンプルの例（投光角45度にて撮影。図6および図7に用いた画像は左列）

5. まとめ

本研究では、トラフ模様の定量化を企図して、写真情報からトラフを検出するための撮影条件の検

討と定量化のための基礎検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

1. トラフ領域の見え方は照明の入射方向が重要であり、繊維直交方向から照明を照らした場合はトラフ領域が軸方向要素に対して暗く視認され、繊維平行方向から照明を照らした場合はその逆であった。
2. 撮影画像を2値化してトラフ領域の抽出を試みた結果、大津の手法よりもPタイル法(25%)の方が様々な照明条件に対してロバストであると考えられた。
3. 得られた2値画像にオープニング処理を施すことにより、よりトラフ領域のみを残した2値画像を得ることができた。
4. 材面に対して正面から撮影する場合は、繊維直交方向から投光角45度にて照明する条件が最もトラフを検出しやすいと考えられた。
5. トラフを定量化するためには、得られた2値画像に粒子分析を行い、黒色領域の最大面積や平均面積を参考とすることが有効であることが示唆された。

一方で、取り組むべき課題も明らかとなった。まず、2値化手法において、Pタイル法のしきい値やオープニング処理の各パラメータを撮影画像のサイズや樹種に応じて最適化していく必要がある。また、現状の手法ではトラフ領域を完全には分離できないサンプルもあったため、粒子分析において形状や方向のパラメータを用いる手法や照明方向を変更した複数画像をもとにした解析手法を検討することが有効であると考えられた。

参考文献

- 1) 経済産業省：電子商取引実態調査，https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/statistics/outlook/ie_outlook.html, (2021年2月参照)。
- 2) 金井博幸, 丸弘樹: 視覚的風合いの計測と評価, 繊維学会誌, 75(6), pp.325-331, 2019.
- 3) 石川 智治, 佐藤 昂, 松本 好史, 佐々木 和也, 清水 裕子, 阿山 みよし: 布地画像と実物の質感認識に関する基礎的研究, 日本感性工学会論文誌, 10(4), pp.497-504, 2010.
- 4) 貴島恒夫: もく(杢, もく目, 紋理). “木材工学辞典”, 日本材料学会木質材料部門委員会編, 工業出版, 東京, pp.631, 1982.
- 5) 森林総合研究所: 日本産木材データベース, ミズナラ (*Quercus crispula* Blume), TWTwNo: 1195, <https://db.ffpri.go.jp/WoodDB/JWDB/home.php>, (2021年2月参照)。

- 6) 加藤茉莉子, 仲村匡司, ヴァイオリン塗の光反射特性と誘目性の関係, 木材学会誌, 62(6), pp.284-292, 2016.
- 7) 外池知靖, 大越誠, 古田裕三, 藤原裕子, 虎斑の現れたミズナラ材表面の視覚特性, 材料, 60(4), pp.288-292, 2011.
- 8) 小寺宏嘩: カラー画像の色変換. “新編色彩科学ハンドブック第3版”, 日本色彩学会編, 東京大学出版会, 東京, 2011, pp.944-961.
- 9) Nobuyuki Otsu: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(1), pp.62-66, 1979.
- 10) 小枝正直, 上田悦子, 中村恭之: OpenCV による画像処理入門 改訂第2版, 講談社, 東京, 2017.
- 11) 澤田豊, 松本朗子, 藤井義久: パターン認識によるラジアータパイプ材における青変部位の自動認識, 木材学会誌, 61(4), pp.274-279, 2015.
- 12) 中村恭之, 上田悦子, 小枝正直: OpenCV によるコンピュータビジョン・機械学習入門, 講談社, 東京, 2017.
- 13) 増田稔: 1.視感覚と木材. “木材と感性”, 材料, 46(7), pp.845-850, 1997.

介護ニーズに基づくポジショニング用品の開発（第2報） クッションの試作と材料の選択

宮川成門*, 藤巻吾朗*, 山口穂高*

Development of Positioning Cushion Based on Nursing Care Needs (II) Prototype and Material Selection of a Cushion

MIYAGAWA Naruto*, FUJIMAKI Goroh*, YAMAGUCHI Hodaka*

身体形状重視の芯材と表面積拡大重視の表層材によるクッションを試作・検討した。表層に選定した粒状材は低い荷重で変形するものの底着きはしやすかった。材別では発泡ポリスチレンビーズは材の流動の有無で底着き性能と変位が大きく変わる、エラストマーパイプは材の流動の有無で物性は変化しにくい重い、低反発チップウレタンと、特に粒わたは耐えられる荷重が低いのが特徴だった。ただしこれらの材を芯材上に敷いた体圧試験では、芯材単独時のピーク圧よりも、どの材でも同等まで低値を示したので、全て表層クッションとしての利用効果が見られた。

1. 緒言

前報¹⁾では特別養護老人ホーム入居者の仰臥位体圧分布を調査した。その結果、入居者は臀部の接触面積が小さく、かつ骨突出部の圧力が高くなるため、介護用マットレス使用においてもポジショニングが必要であることが分かった。一方、ポジショニングに用いる枕等は、身体形状に合わない、硬さや柔らかさが合わない、技術が介助者に依存するなどの課題があることを述べた。

そこで課題解決のため、形状と素材の両面から、簡易に圧分散可能なポジショニングクッションの開発に着手した。本報では腰臀部の除圧を目的としたクッション案の初期試作と性能検討を行ったので報告する。

2. 試作検討

2.1 製品企画

クッション材に用いられるビーズや粒わたは、分量調整が容易かつ身体隙間に合わせて変形させやすい反面、身体支持においては形状の崩れやすさが不利である。一方、ウレタンフォームは、形状が安定しており身体支持がしやすい反面、厚さ調整や身体隙間に合わせて変形させるには不利である。今回、開発検討するクッションは、

身体支持と高い圧分散の両立を目指す。具体的には、身体支持用の形状重視の芯材クッションと、表面積拡大用の粒状材による表層クッションの併用を検討する。これにより、除圧効果が介助者の技術のみに依存しない製品としたい。用途としては、前報で課題にした腰・臀部用とする。

2.2 芯材クッションの簡易試作

芯材クッションの検討において、当所所有の身体形状データ^{2,3)}から、腰・臀部の形状を用いた。表層クッションと組み合わせるため、法線方向に仮に30mm拡大したデータを作成し、3Dプリンタ（L-DEVO M3145TP）によりPLA樹脂で作成した。この形状を用いて臀部下に設置するパーツと、膝屈曲位に対応できる傾斜調整用の楔状パーツを試作した（図1）。まずはこれを芯材クッションとして、各種表層クッションを加え評価検討することとした。

2.3 表層クッションの簡易試作

粒状材の選定のため、材料4×容量2、計8種類のクッションを作成した。また比較のため軟質スラブウレタンを用意した。容量およびサイズは圧縮たわみ試験〔JIS K 6400-2 6.8 E 法〕による比較を考慮し、この試料サイズを参考にした。試作の内容を以下および図2、3に示す。

①選んだ材料：クッション材に用いられている材

* 試験研究部

を調査し、発泡ポリスチレンビーズ（直径約1mm）、エラストマーパイプ（長さ6.5mm 直径5mm）、低反発チップウレタン（直径約5～20mm）、ポリエステル粒わた（直径約10～20mm）の4種類を選んだ。発泡ポリスチレンビーズは最も小さかったもの、エラストマーパイプは小さく弾力性があったものを、流動性と耐久性が優位と見て選択した。

②内容量：①の各材を上面開口の箱（380×380×深さ 50mm） すりきりに入れ容量を計量した。

③クッションカバー：②の各材を伸縮性が高いスパandexカバー（450×450mm）へ、1 杯分および 2 杯分（以下 t50 および t100） 入れることでクッションを作成した。スラブウレタンは W380×D380×H50mm、1 枚および 2 枚重ね（以下 t50 および t100）とした。

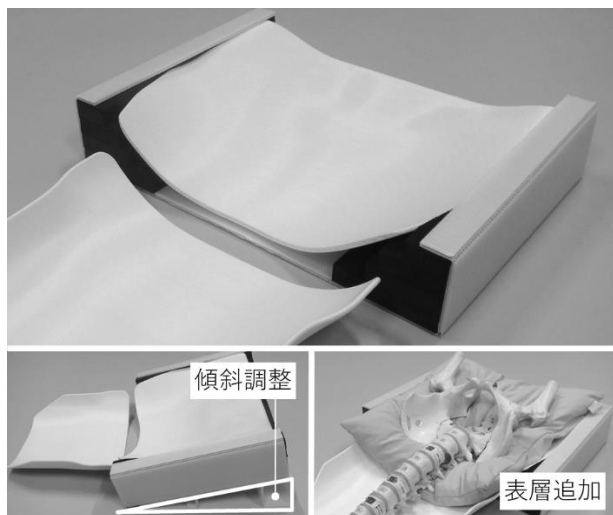


図1 芯材クッションの簡易試作



上段 左：発泡ポリスチレンビーズ／右：エラストマーパイプ
下段 左：低反発チップウレタン / 右：ポリエステル粒わた

図2 表層クッションの材料および試作外観

3. 簡易試作の性能検討

3.1 表層クッションの圧縮たわみ試験

表層クッション各t50について [JIS K 6400-2 6.8 E 法] に準ずる圧縮たわみ試験を行った。主に面荷重時の参考として実施した。粒状材については

試作	材料名	容器容量・外形	嵩密度* (kg/m ³)
ビーズ t50 ビーズ t100	発泡ポリスチレンビーズ 直径1mm以下	容量：380×380×50mm t50：1杯分／t100：2杯分	34.9
パイプ t50 パイプ t100	エラストマーパイプ 直径5×長さ6.5mm	〃	115.5
チップ t50 チップ t100	低反発チップウレタン 直径約5～20mm	〃	28.5
粒わた t50 粒わた t100	ポリエステル粒わた 約10～20mm	〃	11.4
スラブ t50 スラブ t100	スラブウレタン 椅子背用途等軟質タイプ	外形：380×380×50mm t50：1枚分／t100：2枚重ね	21±2

*計量用容器容量より算出、スラブウレタンのみカタログ値

図3 表層クッションの試作内容

2.2②の計量に用いた上面開口の箱に入れた状態、スラブウレタンについては箱なしで荷重した。直径200mm加圧板により、クッション表面中心より100mm/minの速さで初期厚さから75%まで圧縮後、同じ速さで戻した時の荷重変位を記録した。

3.2 表層クッションの底着き性能試験

試験状況を図4に示す。表層用クッション各t50、t100について、[JIS T 9275 7.8] に準ずる体位変換用具の底着き性能試験を行った。主に点荷重時の参考として実施した。t50については前述計量用の箱、t100については深さのみ100mmに変えた箱に入れ荷重した。加圧子は直径60mm×長さ60mm円柱の曲面側半分の形状、これをクッション表面中心より100mm/minの速さで100Nまで荷重し、負荷する力が急激に大きくならないか確認した（目安は30N/mm以上）。サンプリングレートは20Hzとした。なお、材の流動が多い発泡ポリスチレンビーズとエラストマーパイプについては、加圧子が入る部分のみに穴を開けた蓋（25mmピッチ直径約5mm通気穴あり）で覆った条件も測定し、材の逃げ場が抑制された場合も想定した。

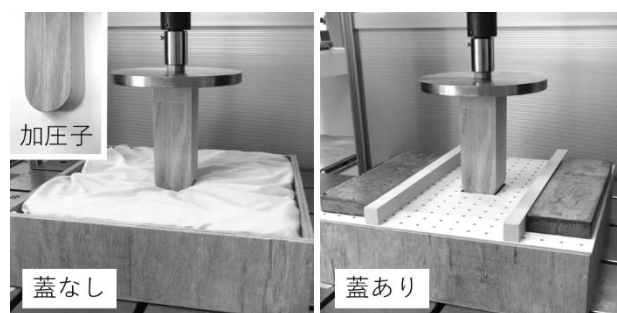


図4 底着き性能試験

3.3 芯材・表層クッション体圧試験

クッションの体圧試験を行った（使用装置：XsensorX3, 測定範囲：10～200mmHg）。試験内容

は、①フローリング上に表層用クッションのみを敷いた場合、②介護用ウレタンマットレス（molten製 Nucky）上に表層用クッションのみ敷いた場合、③芯材（臀部のみ）・表層クッションの試作を重ねた場合とした。モデルは63kg男性、薄手着衣、クッションの上面にセンサシートを敷き、この中心に臀部を下ろして、膝伸展の仰臥位により測定した。沈み込の誤差を考慮し4回計測の平均とした。

4. 結果と考察

4.1 表層用クッションの圧縮たわみ試験結果

結果を図5に示す。面で荷重を加えた際、粒状材は共通して、スラブウレタンに比べ初期からなだらかに変形するため身体表面形状に馴染みやすいと考えられた。個別の違いとしては、発泡ポリスチレンビーズは後半急激に変形しにくくなり硬くなった。エラストマーパイプは徐々に変形して最大荷重はスラブウレタンより高かった。低反発チップウレタンと、特にポリエステル粒わたは最大荷重が低かった。

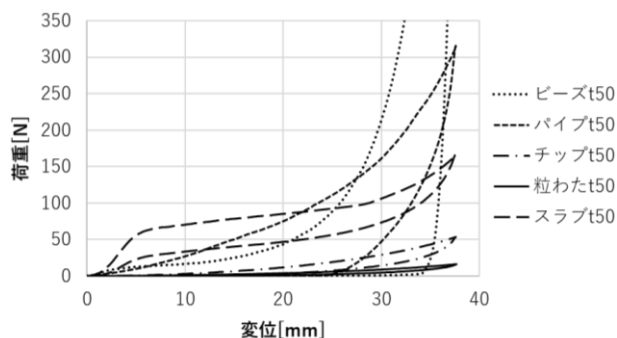


図5 各試作の圧縮たわみ試験結果

4.2 表層用クッションの底着き試験結果

底着き判断目安の 30N/mm に達した時の荷重値を図6、荷重曲線を図7に示す。100Nに達しても底着きがなかったのは、発泡ポリスチレンビーズの蓋あり、スラブウレタン t100のみであった。100N直前で底着いたのが、エラストマーパイプ t100の蓋あり、低反発チップウレタン t100、スラブウレタン t50であった。

発泡ポリスチレンビーズは、材の流動が容易な時（蓋なし）は簡単に底着くが、材の流動を抑えた時（蓋あり）は底着きしなくなり、その変化が大きかった。ただし、材の流動を抑えた時は底着きしにくい反面、変形もしにくいいため、使用時は硬く感じたり、身体に合う形に変形せず姿勢に無理が生じることも考えられた。製品にする際は適

度な容量調整が非常に難しい材といえた。

エラストマーパイプにおいても、材の流動を抑えた時は荷重値がわずかに高くなったが、パイプ自体が変形するため底着きが生じた。ただしこれは、材の流動が抑えられても物性が大きく変わらないことでもあるため、発泡ポリスチレンビーズより容量調整がしやすい材ともいえた。しかしながら材が重いので、大量に使うには適さない。

低反発チップウレタン、ポリエステル粒わたも底着きが生じた。ただし流動を考慮する必要が無い材のため容量調整はしやすい。しかしながら粒わたは特に底着き時の荷重値が低いので、他より多くの量が必要になるといえた。

以上より、粒状材は単独ではスラブウレタンのように安定した底着き防止性能を作るのは難しいので、底着き防止性能については併用する芯材において検討するのが妥当と考えられた。

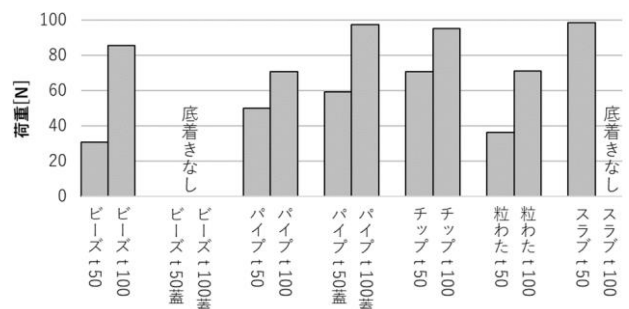


図6 底着き試験結果（30N/mmに達した荷重）

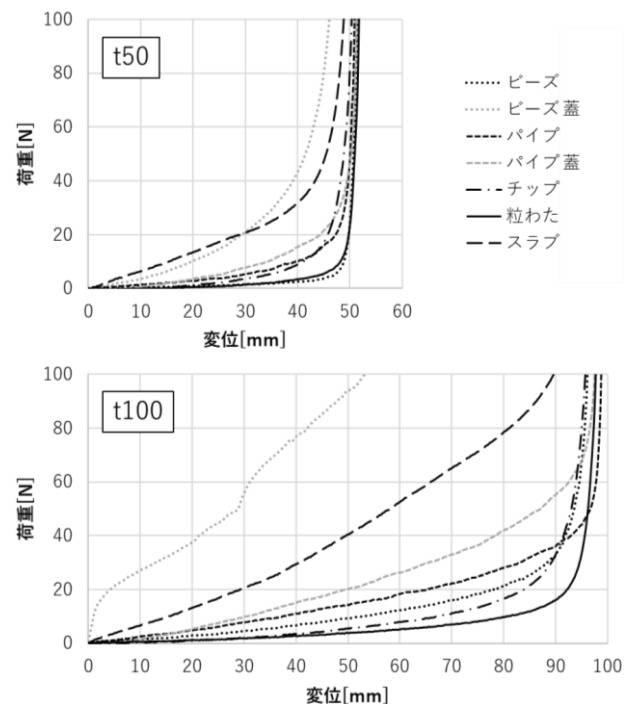


図7 底着き試験結果（荷重変位曲線）

4.3 芯材・表層クッション体圧試験結果

フローリング上に表層用クッションを敷いた場合のピーク圧力を図8に示す。発泡ポリスチレンビーズ t50 は、200mmHg 以上と測定範囲を超えたが、t100 では 60mmHg 付近とスラブウレタン同等になった。これは材の流動が抑えられたためと考えられ、分量で物性が大きく変わる特徴が現われていた。エラストマーパイプは t50、t100 とスラブウレタン同等の値を示した。チップウレタン、粒わたは、今回の容量ではフローリング上で単独使用するには除圧効果が見込めなかった。

介護用マット上に表層用クッションを敷いた場合の体圧を図9に示す。フローリング上の単独使用では各クッション間で除圧性能の差が明確だったが、介護用マット上に敷くと差がほぼ無くなった。これは底着きをマットレスが緩和したためと考えられる。チップウレタン以外は介護用マットレス単独のピーク圧約 40mmHg よりわずかに除圧効果を高めることができた。表面積拡大は全体的に確認できた。

芯材・表層クッションを重ねた場合の体圧を図10に示す。この場合も各クッション間での除圧効果の差がほぼ無くなった。芯材形状による圧分散効果があったと考えられる。表層クッションの追加により形状単独の約 60mmHg からさらに除圧する効果は高かった。表面積拡大は全体的に確認できた。特に粒わたは t100 では 30mmHg 付近と最も低値であり、単独利用では除圧機能の期待できなかったが、表層材としては利用効果が見込めた。全体的な圧力値としては介護用マットに表層用クッションを敷いた時と概ね同等だった。

ただし特養入居の高齢者が、介護用マットレス使用時に 70mmHg 程度のピーク圧があったことを考えると、さらに除圧効果を上げることが好ましい。そのためには現状 PLA 樹脂である芯材クッションについても材質変更や部分的に硬さを変えるなどの工夫が必要と考える。

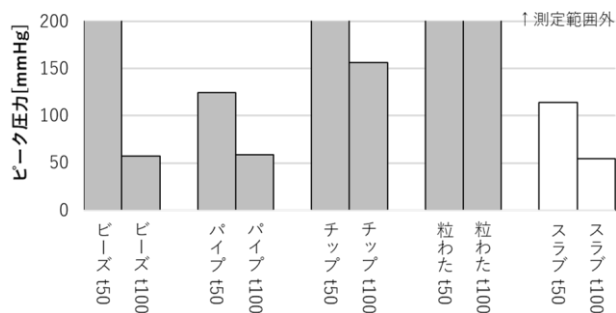


図8 体圧：フローリング上に表層クッション

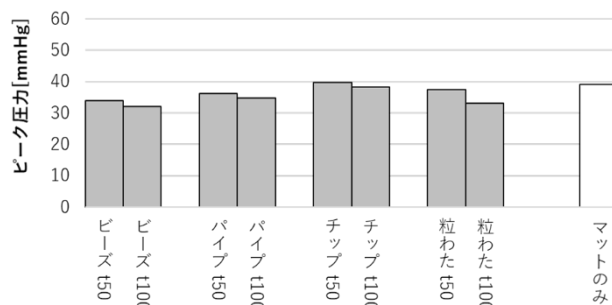


図9 体圧：マットレス上に表層クッション

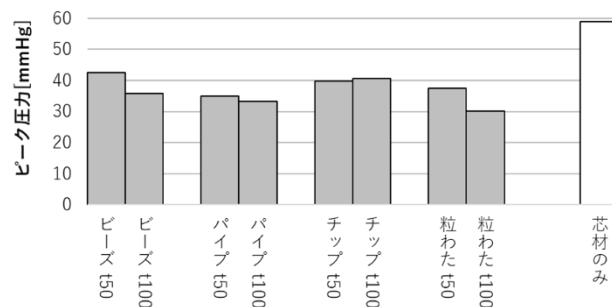


図10 体圧：芯材+表層クッション

5. まとめ

身体形状重視の芯材と表面積拡大重視の表層材による、ポジショニングクッションを試作・検討した。結果を以下にまとめる。

- ・粒状材はスラブウレタンより低い荷重で変形するため身体形状に馴染むと考えられ、単独では底着きしやすいので芯材併用が妥当だった。
- ・発泡ポリスチレンビーズは、材の流動の有無で、変形しやすい状態から変形しにくい状態、簡単に底着く状態から底着かない状態へと変化が大きかった。適度な分量調整が難しいと言えた。
- ・エラストマーパイプは、材自体の弾力性があるため、材の流動の有無による物性の変化は少なかった。面で受ける時はウレタンフォーム以上の荷重に耐えたが、流動するので点荷重の底着き試験では底着きした。分量調整しやすいが重量が重い。
- ・低反発チップウレタンと、特に粒わたは、耐えられる荷重が低かった。材の流動は無いので分量調整はしやすいが、多くの量が必要と言えた。
- ・体圧試験において粒状材の表層クッションを、介護マット、形状重視の芯材クッションと組み合わせると、除圧効果が向上すると共に、各粒状材間の差が小さくなり全て利用効果が見られた。ただしさらなる除圧が必要なため、製品化に向けては芯材の材質等検討も必要と考えられた。

参考文献

- 1) 宮川成門：介護ニーズに基づくポジショニング用品の開発 特別養護老人ホーム入居者の仰臥位調査, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.22, pp.15-18, 2020.
- 2) 藤巻吾朗：人間・生活者視点による人にやさしい製品開発（第 2 報）立位・座位姿勢での人体 3 次元形状, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.10, pp.8-10, 2008.
- 3) 藤巻吾朗ほか：自動車シートの座面形状の提案, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.16, pp.13-16, 2014.

木材乾燥における芳香蒸留水の有用成分利用（第1報） 芳香蒸留水の精油量について

伊藤国億^{*1}，瀬瀬正憲^{*2}

Effective Use of Aromatic Distilled Water by Drying Wood (I) Essential Oil Amount of Aromatic Distilled Water

ITO Kuniyasu^{*1}，KOUKETSU Masanori^{*2}

木材乾燥時に回収される芳香蒸留水に含まれる精油成分を調査するため、ラボ乾燥試験では75℃乾燥スケジュールの背割り材乾燥と90℃乾燥スケジュールの板材乾燥を、実大乾燥試験では高温セット乾燥とラボ乾燥スケジュールと同じ背割り材乾燥を行った。

芳香蒸留水中の主要な精油成分は水蒸気蒸留で得られる芳香蒸留水の精油成分と変らなかったが、精油含有量は背割り材乾燥において乾燥が進むにつれて減少し、板材乾燥においては僅かに増加した。実大乾燥試験の背割り材乾燥ではラボ乾燥試験と異なってシトロネロールや α -ムウロロールが、高温セット乾燥では α -テルピネオールが主要であった。

1. 緒言

スギ、ヒノキなどの住宅用材は材内の含水量を減らすため乾燥処理されて市場に供給されているが、その乾燥過程で材内の水分が排出蒸気となって多量に生じている。この排出蒸気には木材由来の精油等が含まれているが、排出蒸気を回収して精油を利用することはほとんどない。我々は、未利用資源かつ副生産物である排出蒸気中の精油を回収するため、木材乾燥をラボスケールから実大スケールまで行い、その成分や収量を検証¹⁾した。こうしたなか、精油回収の際に精油量よりも多く回収される芳香蒸留水の活用に着目した。芳香蒸留水は僅かながら精油成分を含んでいると言われているが、木材乾燥における芳香蒸留水の精油量を調査した事例は殆どない。そこで今回、芳香蒸留水量やその精油量を調査することにした。

2. 実験方法

2.1 ラボ乾燥試験

ヒノキ (*Chamaecyparis obtuse*) は飛騨産心持ち材 (135×135×4100mm) 3本をそれぞれ長さ400mmにカットし、交互に板材乾燥及び柱材 (背割り材) 乾燥に用いた。1本ごとにカットした内の

4個は4枚に等分割 (約32×135×400mm) して計16枚 (材積; 約0.028m³) として板材用に、残りの6個 (材積; 約0.044m³) は背割り材として柱材用に木取りし、乾燥試験をそれぞれ3回ずつ行った。試験は当所の木材乾燥装置を用い、板材乾燥は先の研究¹⁾と同じ乾燥スケジュールで行い、背割り材乾燥は最大75℃、144時間の乾燥スケジュールで行った。各乾燥スケジュールの時間を等間隔に3回に分けて芳香蒸留水と精油を回収した。また、端から50mmを切り落とした残材から10×20mm、厚さ3-5mm程度にしたチップ材を調製した。チップ材約150gをガラス器具の水蒸気蒸留装置に入れて、蒸留温度90±2℃、冷却温度5℃、20時間で水蒸気蒸留し、芳香蒸留水と煮沸水を得た。

2.2 実大乾燥試験

先の研究²⁾と同様に精油回収装置を設置した木材乾燥機 (エノ産業(株)社製、材積max.16.5m³) を用い、ヒノキ無背割り材の高温セット乾燥とラボ乾燥試験と同じ乾燥条件の背割り材乾燥 (以後、背割り材乾燥 (実大) とする) を行い、芳香蒸留水を回収した。また、芳香蒸留水量を測るため、装置の精油貯留槽の排出口に流量計を設置した。

2.3 芳香蒸留水の精油分析

固相抽出カートリッジ (GLサイエンス社製, InertSep RP-1) を用いて芳香蒸留水中の精油の

^{*1} 試験研究部 ^{*2} 交告製材(株)

抽出を行った。コンディショニングしたカートリッジに芳香蒸留水100ml又は200mlを流し、蒸留水で洗浄後、窒素雰囲気下で脱水した。これにメタノール（純正化学社製）を流して溶出した抽出液をエバポレーターで濃縮し、窒素雰囲気下でメタノールを除去した。

2.4 精油分析

GCMS（島津製作所社製,GCMS-QP2020NX）を用いて、メタノールで5mlにメスアップした抽出液を表1に示す分析条件で測定した。なお、n-アルカン（林純薬工業社製 C7-C33）を同様に測定してリテンションインデックス（RI）を作成し、精油のマススペクトル・データベースのGCリテンションインデックスおよびNISTライブラリより精油成分を定性した。

表1 GCMS分析条件

GC/MS	Shimadzu GCMS-QP2020NX
測定モード	SCAN
キャリアガス	He、140kPa
スプリット比	10:1
オープン	50℃-(3℃/min)-300℃
カラム	DB-5 (30m×0.25mm i. d. ×0.25 μ m)
MS 温度	300℃
検出器	0.7kV

3. 結果及び考察

3.1 芳香蒸留水の測定

ラボ乾燥試験で回収した各乾燥の時間帯における芳香蒸留水量の平均値を図1に示す。板材乾燥は乾燥が進むにつれて芳香蒸留水量は減少し、ロット間の回収量のばらつきは乾燥前期が最も大きかった。背割り材乾燥は後期のばらつきが大きかったが、これは試験1回目（後期）において回収装置の貯留タンクとして用いた分液ロートからの漏水によるものと考えられた。これを考慮すれば、乾燥が進むほど回収量が増加すると推察され、乾燥条件によって芳香蒸留水の回収量は大きく異なる。乾燥スケジュールの乾湿球差によるものと考えられ、板材乾燥では乾湿球差を5℃差から10℃差まで設けたが、背割り材乾燥では乾湿球差を最大20℃差まで大きく設けたため、乾燥が進むほど排出される蒸気量が多くなり、回収量が増加したと考えられる。

実大乾燥試験では、高温セット乾燥のセット時における芳香蒸留水量は1,717L (104L/m³) とラボ乾燥試験よりも多かった。ラボ乾燥試験に比べて

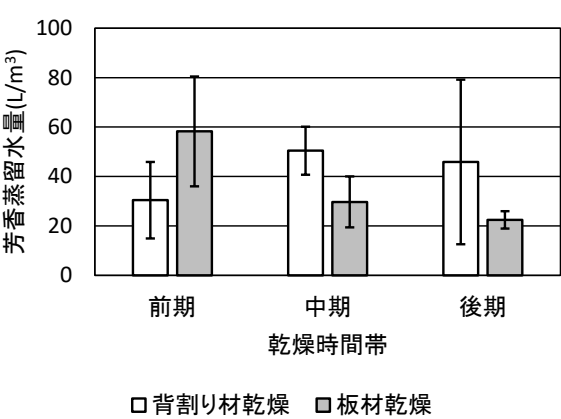


図1 各乾燥における芳香蒸留水量

高温セット乾燥のセット時は温度が高く、材含水率が急激に低下することから、この間の水分蒸発量は多くなる。また、蒸気の供給元は、ラボ用の木材乾燥装置では木材以外に湿球用のウィックパン内の僅かな水だけであるが、木材乾燥機は機内の湿球温度が過度に低下すると、スプレーが適宜入って蒸気量が増加する。これらのことから、実大乾燥試験の芳香蒸留水量が多くなったと推察された。

なお、実大乾燥試験では高温セット開始から3時間を超えても常時、精油回収装置の貯留槽排出口から芳香蒸留水が流れた。流量計の口径が小さく、排出速度が遅くなったことが原因であったが、今回は貯留槽のオーバーフローまでは至らなかった。また、冷却槽から貯留槽に流入する芳香蒸留水により、貯留槽に溜まった上層部の精油は常に攪拌し、貯留槽排出口から流出する懸念があった。従って、流量計による芳香蒸留水量の計測はこれ以降取り止めた。

3.2 芳香蒸留水中の精油成分

板材乾燥（前期）により回収した芳香蒸留水の抽出液と水蒸気蒸留により回収した芳香蒸留水及び蒸留時の煮沸水から抽出した溶液をGCMS分析に供して得られたクロマトグラムを図2に示す。図2の保持時間38分までのピークは板材乾燥の抽出液（図2上）と水蒸気蒸留の抽出液（図2中）と殆ど同じであったが、保持時間38分以降のピークは各抽出液で異なり、板材乾燥では多数のピークが検出された。また、蒸留装置に残留した煮沸水の抽出液（図2下）は板材乾燥や水蒸気蒸留とは異なる保持時間（位置）にピークが検出された。このことから、保持時間38分までのピークは木材由来であり、板材乾燥の保持時間38分以降のピークは木材由来でない可能性が推察された。

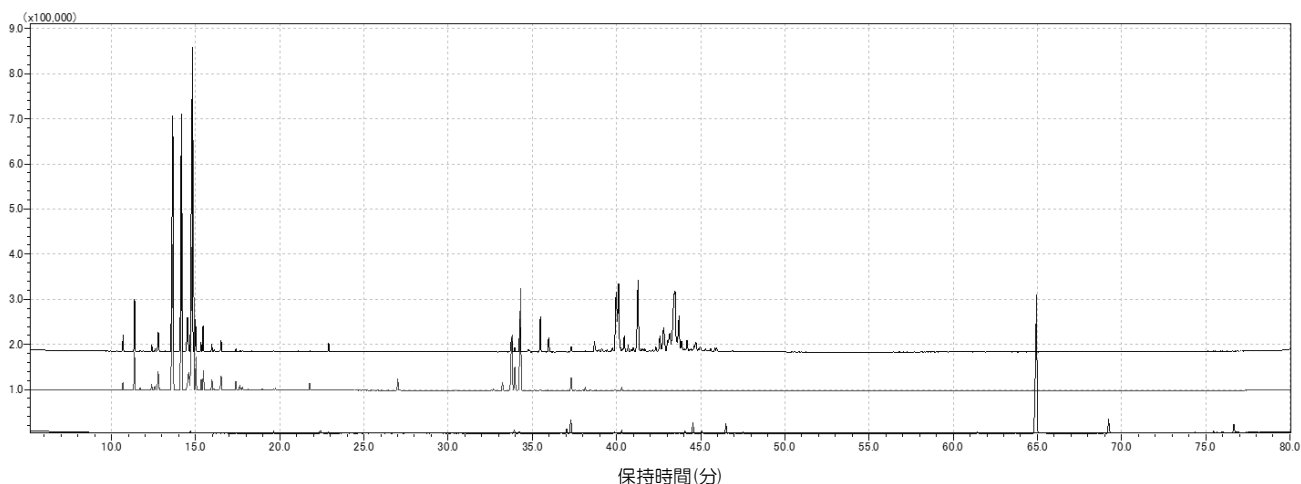


図2 芳香蒸留水等の抽出液のクロマトグラム(上:板材乾燥前期、中:水蒸気蒸留、下:煮沸水)

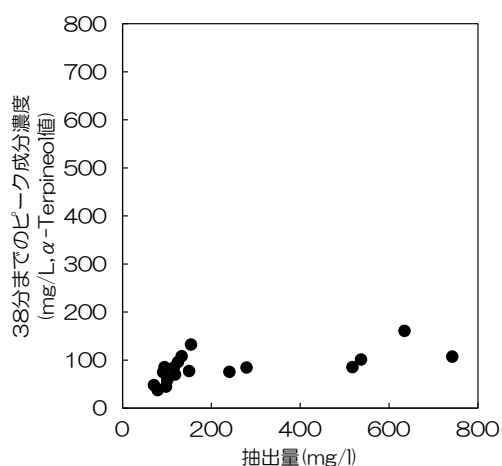


図3 抽出量と GCMS による保持時間 38 分までのピーク成分総量

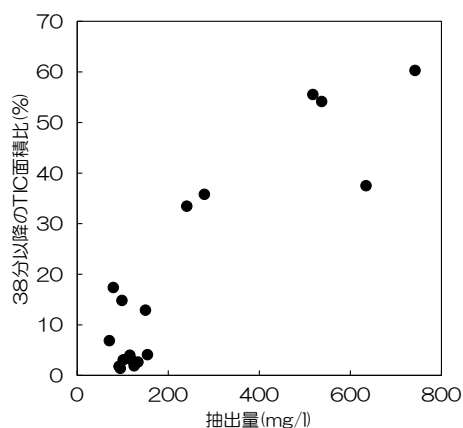


図4 抽出量と GCMS による保持時間 38 分以降のピーク面積比

表2 水蒸気蒸留で回収した芳香蒸留水の精油成分

成分名	※ 成分量 (mg/L)	RI		類似 度
		サン プル	ライ ブラ リ	
Fenchol<endo->	2.5	1142	1145	92
Camphene hydrate	1.7	1162	1165	93
Borneol	15.5	1174	1174	92
Terpinen-4-ol	17.7	1184	1179	90
Cymen-8-ol<para->	2.5	1190	1186	94
Terpineol<alpha->	36.0	1194	1194	95
Myrtenol	2.2	1204	1204	90
Citronellol	1.6	1227	1223	86
Verbenone	1.4	1622	1627	87
Murrolol<epi- alpha->	6.9	1637	1640	93
Murolol<alpha->	2.1	1641	1644	92
Cadinol<alpha->	10.0	1650	1652	93

※ α-テルピネオール換算値

また、芳香蒸留水からの抽出量とGCMSによる保持時間38分までのピークを合算した成分量（α-テルピネオール換算値）を図3に、抽出量と38分以降のTICピーク面積比（%）を図4に示す。図3に示すように抽出量の多かったサンプルにおいても保持時間38分までの成分量は200mg/L未満であり、図4に示すように保持時間38分以降のピークが大

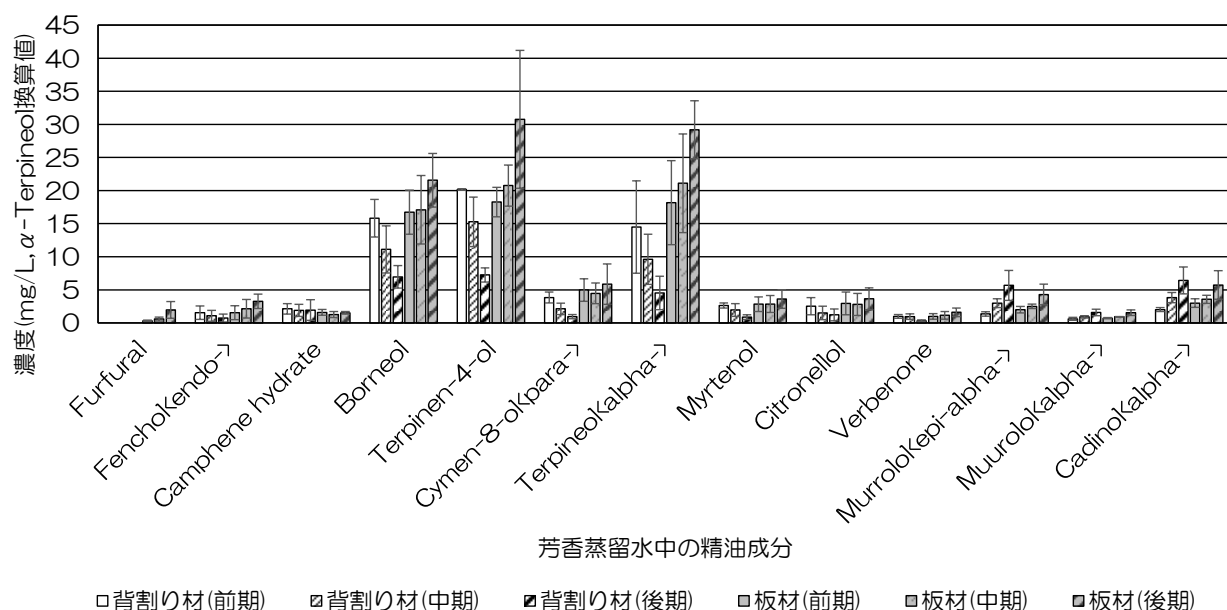


図5 芳香蒸留水抽出液の主な精油成分量

表3 実大乾燥試験による芳香蒸留水中の精油量 (α -テルピネオール換算値, mg/L)

成分名	背割り材乾燥 (実大)	高温 セット 乾燥 1回目		高温 セット 乾燥 2回目
		乾燥後	セット後	乾燥後
Furfural	0.4	2.6	1.5	1.2
Fenchol<endo->	1.9	2.5	2.8	5.0
Camphene hydrate	N.D.	0.3	N.D.	0.5
Borneol	2.3	9.7	6.2	18.3
Terpinen-4-ol	1.2	10.4	5.8	16.6
Cymen-8-ol<para->	3.0	2.3	3.5	0.0
Terpineol<alpha->	0.5	39.2	29.2	72.6
Myrtenol	1.4	1.9	1.2	2.6
Citronellol	8.6	2.3	1.5	3.5
Verbenone	N.D.	0.6	N.D.	1.3
Murrolol<epi-alpha->	3.1	4.5	5.1	5.9
Muurolool<alpha->	13.5	1.7	2.0	1.8
Cadinol<alpha->	3.1	7.3	8.0	7.7

きいほど抽出量が多かった。つまり、木材由来とされる抽出成分量は200mg/L未満であったが、抽出量が増加したサンプルには木材由来でない

推察される夾雑物が多く含まれたと考えられ、夾雑物の原因が木材乾燥装置または精油回収装置由来と推察された。

水蒸気蒸留の芳香蒸留水抽出液のGCMS分析によりピーク面積比が1%以上あった成分を同定した(表2)。また、各乾燥における回収した芳香蒸留水中の精油成分量との比較を図5に示す。芳香蒸留水中の精油成分量は乾燥条件により僅かに異なった。背割り材乾燥では主要なボルネオールやテルピネン-4-オール、 α -テルピネオールは乾燥が進むにつれて含有量が減少した。一方、板材乾燥ではボルネオールやテルピネン-4-オール、 α -テルピネオールなど殆どの成分においてその含有量は僅かな増加傾向がみられた。また、フルフラールが検出され、乾燥が進むにつれて含有量が高まった。乾燥時の熱劣化によりごく一部のヘミセルロースが分解されたことによると考えられる。

背割り材乾燥(実大)および高温セット乾燥における芳香蒸留水中の精油量を表3に示す。背割り材乾燥(実大)の精油は同条件のラボ乾燥試験では未検出であったフルフラールが検出された。実大乾燥試験では高温セット乾燥もしていること、十分な洗浄や換気が困難であることから、乾燥機や装置などの残留成分の可能性が考えられる。また、背割り材乾燥(実大)ではシトロネロールや α -ムウロロールが多く、これら成分が多い原因は不明である。高温セット乾燥ではセット後および乾燥後に回収した芳香蒸留水の精油成

分に差は余りなかった。高温セット乾燥ではセット時のみ冷却しているため、セット以降に蓄積される芳香蒸留水は20L未満と僅かであった。芳香蒸留水は精油回収装置の冷却槽に約30L程度貯留される設計であることから、セット前後の芳香蒸留水が合わさって成分比に差が出なかったと考えられる。また、他の乾燥試験と比べて α -テルピネオール成分割合が高かった。

4. まとめ

木材乾燥時に回収される芳香蒸留水量やこれに含まれる精油成分量を調査するため、ラボ乾燥試験では75℃乾燥スケジュールの背割り材乾燥と90℃乾燥スケジュールの板材乾燥を、実大乾燥試験では高温セット乾燥とラボ乾燥スケジュールと同じ背割り材乾燥を行った。

回収される芳香蒸留水量は乾燥スケジュールによって異なり、板材乾燥では乾燥初期ほど芳香蒸留水量が多かったが、背割り材乾燥では反対に乾燥後期ほど増加する傾向がみられ、乾燥スケジュールによる乾湿球温度差が影響したものと考えられた。また、実大乾燥試験ではラボ乾燥試験よりも芳香蒸留水量が多く、セット時の材中の水分蒸発量や乾燥機のスプレーによる影響と推察された。

芳香蒸留水中からの精油抽出では木材由来と考えられる抽出物量は200mg/L未満であったが、一部に抽出量の多いサンプルがみられた。これは

木材乾燥装置または精油回収装置由来の夾雑物に伴う増加と考えられた。抽出物中の精油を分析した結果、精油成分は殆ど変わらなかったが、乾燥温度や時間帯により精油の成分比は異なった。乾燥温度が高く、熱履歴が長いほどフルフラール量が増加した。また、背割り材乾燥では乾燥が進むにつれてテルピネン-4-オールなどのモノテルペンアルコール含有量が減少し、板材乾燥ではこれらの成分に僅かな増加傾向がみられた。背割り材乾燥（実大）では同じ乾燥条件のラボ乾燥試験と異なってシトロネロールや α -ムウロロールが、高温セット乾燥では α -テルピネオールが主要であった。実大乾燥試験は試験数が少ないことから、追試験を今後行う予定である。

参考文献

- 1) 伊藤国億ほか：香りでやすらぐ木工製品の開発 木材乾燥における排出蒸気中の精油成分について，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.18, pp.5-9, 2016.
- 2) 伊藤国億ほか：香りでやすらぐ木工製品の開発（第3報） 木材乾燥における排出蒸気中の精油回収について，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.20, pp.6-9, 2018.
- 3) 伊藤国億ほか：香りでやすらぐ木工製品の開発（第5報） 木材乾燥による精油回収実証試験について，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.22, pp.1-4, 2020.

中小企業向け生産現場支援IoTシステムの開発（第2報）

成瀬哲哉*

Development of IoT System for SMEs (II)

NARUSE Tetsuya*

県内家具産業の生産現場では、少量多品種を製造するため、ジグを多数有しており、ジグ管理コストの増大に悩まされている。多数のジグを管理するにはIoT導入が効果的と考えられるが、導入コストや運用の難しさが課題となっている。

これらの課題を解決するために、令和元年度の研究において、バーコードやMZプラットフォーム等の既存技術を活用することで安価で運用性の高いジグ管理システムを実現した。

今年度は、このジグ管理システムを、生産現場で独自に運用できることを目指し改良を加えたジグ管理システムを構築した。

1. 緒言

県内家具産業の生産現場では、少量多品種を製造するためのジグを多数有しており、ジグ管理コストの増大に悩まされている。多数のジグを管理するため、IoT導入のニーズはあるものの、IoTシステムの導入・運用においては、利用者に高度なプログラミング技術や専門知識を必要とする場合もあり、中小企業の生産現場で独自に運用する際の課題となっている。

県公設試においては、中小企業向けIoTシステムの導入支援を目的に、機器設備の稼働状態計測システムの開発¹⁻³や生産管理システムの構築等を実施し、中小企業に導入されるなど成果を上げている。

これらの課題を解決すべく、令和元年度の研究⁴において、既存技術・研究シーズを活用することで高度な専門知識がなくとも独自に運用できるジグ管理システムを構築したが、このシステムはネットワークに接続しないで単独で動作するため、生産現場の複数個所で使用するには機能が十分ではなかった。

そこで、本年度研究においては、生産現場で独自に運用できることを目指し改良を加えたジグ管理システムを構築した。

2. ジグ管理システムの開発

2.1 ジグ管理システム構築の方針

中小企業において、導入コストを低くできること、高度な専門知識がなくとも運用や改良が可能であること、ジグ管理システムの導入により作業負担が増やすことなく効率的にジグ管理ができることを念頭に開発を行った。

図1にジグ管理システム構成図を示す。

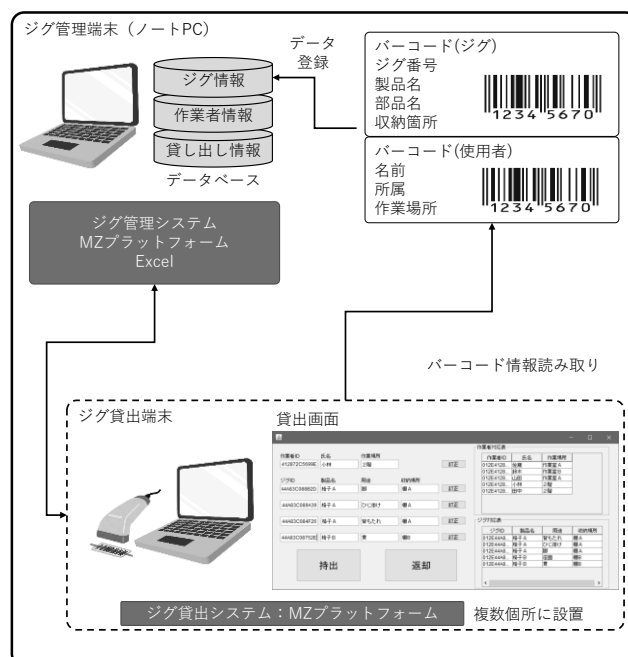


図1 ジグ管理システム構成図

* 試験研究部

ハードウェアには、市販されている標準的なPC周辺機器等、安価な既製品を用いた。令和元年度の研究⁴⁾においては市販されているシングルボードコンピュータも用いていたが、WindowsとUbuntuの異なるOSが混在しており、生産現場での管理コスト増が懸念されたため、管理端末、システム全体としてWindowsを使用することとした。

開発用ソフトウェアは、引き続きMZプラットフォーム⁵⁾を用いてシステム開発を行い、データベースはオープンソースソフトウェアのMySQL⁶⁾またはMicrosoft社のExcelの利用を検討した。

MySQLは、オープンソースのリレーショナルデータベース管理システム (RDBMS) で、MZプラットフォームと連携したシステム構築が可能である。一方、Microsoft社のExcelは有料ソフトウェアであるものの、表計算ソフトウェアとして多くのPCにインストールされ利用も多いことから、新たにソフトウェアの使用方法を学習する手間（学習コスト）が少ない。

2.2 改良版ジグ管理システム

前項のそれぞれのソフトウェアの特徴を比較し、中小企業の生産現場で独自に運用できることを勘案して、今回構築するジグ管理システムのデータベースにはMicrosoft社のExcelを用いることとした。また、ジグ管理システムのバーコード発行機能はMZプラットフォームを用いて構築することも可能であるが、Excelの差し込み印刷機能とPCへのバーコード用フォントのインストールすることで最小限の機能ではあるが、バーコードを発行することができる。

図2に改良版ジグ管理システムの構成図を示す。

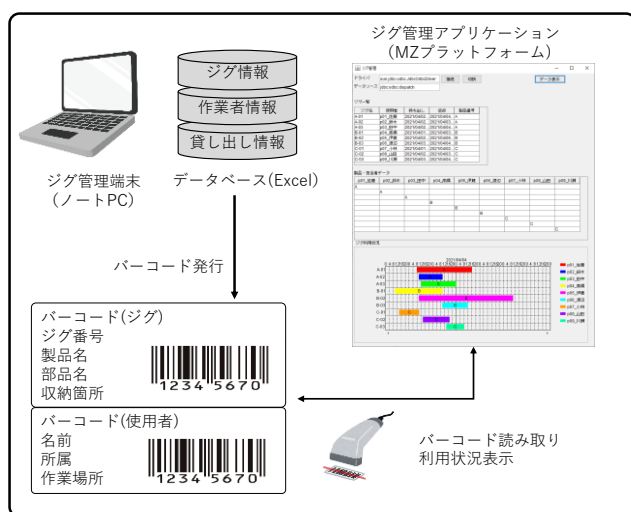


図2 改良版ジグ管理システム構成図

ジグ管理システムには、既存のPCを利用できることから、システム全体で十数万円と安価に構成することができ、導入コストと運用コストを低減することが可能である。

2.3 改良版ジグ管理システムの構築

まず、データベースとして用いるExcelファイルに、ジグ名、使用者、持ち出し日時、返却日時、製品番号の項目を作成し、仮データを入力し、元データを作製した。

このExcelファイルを、MZプラットフォームのデータベースアクセスコンポーネントを用いて、データの読み込みと書き込みを行い、ジグの貸し出し状況が確認できるアプリケーションを構築した。

図3に構築したアプリケーションを示す。

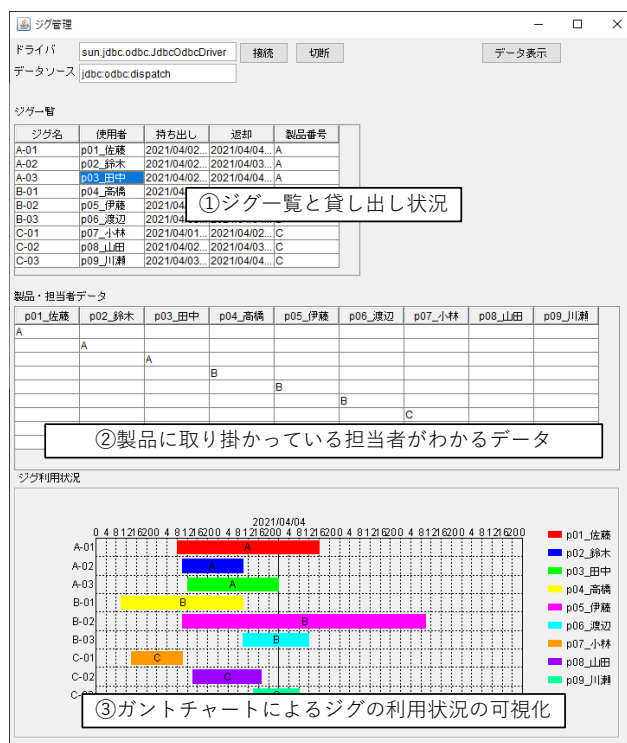


図3 ジグ管理アプリケーション

アプリケーションの機能として以下の①～③を有している。

① ジグの貸し出し登録画面

バーコードリーダーにより、作業者とジグのIDを読み取り、持ち出し時間、返却時間を登録。

② 関連する製品の担当者の一覧

ジグを用いて製作する製品名と担当者を表示することで、作業者の状況を把握できる。

③ ガントチャートによるジグ利用状況の可視化

ガントチャートにより、ジグ、使用者、使用時

間が可視化されることで、作業の進捗やジグの使用を確認できる。

図4にバーコードリーダを接続し、構築したアプリケーションをノートPCにインストールしたジグ管理システムを示す。

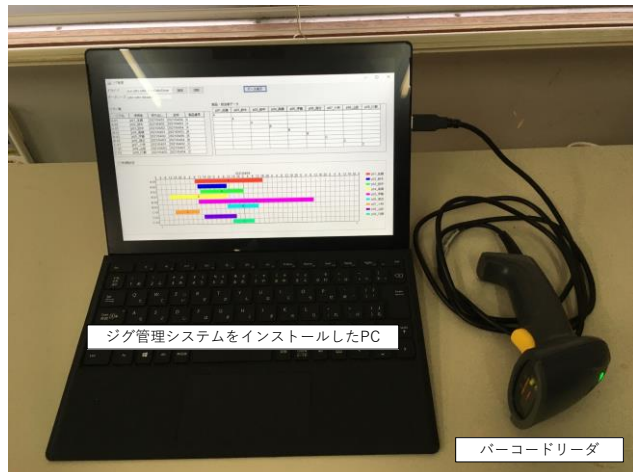


図4 ジグ管理システム

2.4 その他の機能

ラベルにはバーコード、製品名、部品名、収納場所が印字できるため、持ち出し・返却作業時の目視確認に有用であるだけでなく、市販のラベルプリンターを用い、ラベルカラーと収納場所の棚を色分けすることで、収納場所の間違い軽減やジグを探す際の目印として機能させることとしている。



図3 バーコードラベルの色分け

2.5 今後の展開

今回開発したジグ管理システムは、生産現場に設置し、ジグの管理を行うことができる。ジグ貸出端末を含むシステム全体で十数万円と安価に構成することができ、導入コストを低減できた。

しかし、生産現場での実運用にあたっては導入実績が求められている。一方、研究所内において今回開発した管理システムを当所の備品管理システムとして令和3年度より運用し、運用における課題の洗い出しとシステムの改修を進める。

また、MZプラットフォームでのシステム構築だけでなく、今後の機能拡張にはMySQLデータベースへの理解も必要となることから、導入マニュアルの整備を進め、家具メーカーへの技術移転・システムを容易にする計画である。

3. まとめ

少量多品種を製造する家具産業の現場では多数のジグが必要となり、ジグ管理コスト増大に悩まされている。そこで、既存技術や研究シーズを活用し、高度なプログラミング知識がなくとも開発・運用できるネットワーク対応ジグ管理システムを構築した。

ハードウェアにおいては、Windows PC、標準的なPC周辺機器等、安価な既製品を、ソフトウェアにおいてはMZプラットフォーム、Excelを使用することで安価で運用性の高いジグ管理システムを構築することが出来た。

謝辞

本研究は、一般財団法人 越山科学技術振興財団 研究助成金により実施しました。

参考文献

- 1) 横山ら：IoT 技術を活用した予防保全に関する研究開発（第1報），岐阜県情報技術研究所研究報告，No.19，pp.1-3，2018.
- 2) 成瀬ら：オープンソースソフトウェアを活用した工作機械の状態可視化について，岐阜県情報技術研究所研究報告 No.19，pp.4-5，2018.
- 3) 成瀬ら：オープンソースソフトウェアを活用した工作機械の状態可視化について（第2報），岐阜県情報技術研究所研究報告，No.20，pp.9-10，2019.
- 4) 成瀬：中小企業向け生産現場支援 IoT システムの開発，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.22，pp.22-24，2020.
- 5) MZ プラットフォームユーザー会：
<https://ssl.monozukuri.org/mzplatform/>
- 6) MySQL：<https://www.mysql.com/jp/>

木材の触覚特性の数値化と手触り感に関する指針の提案（第2報）

木材の触感と印象評価に関するパス解析

藤巻吾朗^{*1}, 山口穂高^{*1}, 宮川成門^{*1}, 山崎直樹^{*2}, 吉田宏昭^{*2}

Digitalization of Tactile Characteristics of Wood and Proposal of Guidelines for Tactile Sensation (II)
Path Analysis of the Relationships among the Factors of Tactile Sensation and Impression of Wood

FUJIMAKI Goroh^{*1}, YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, MIYAGAWA Naruto^{*1},
YAMAZAKI Naoki^{*2}, YOSHIDA Hiroaki^{*2}

本報告では木材の触感と印象評価の関係を明らかにすることを目的とし、触感を構成する4つの次元である粗滑感、硬軟感、温冷感、乾湿感について、木材の代表的な印象評価として自然感、高級感、快適感との関係を調査した。パス解析を行った結果、モデルの当てはまりは良好であった。サンプルを見ないで触った場合、木材の印象形成は粗滑感の影響が強く、次いで乾湿感の影響が強いと考えられた。サンプルを見て触った場合の木材の印象形成は、見ないで触った場合と比べて複雑で自然感については温冷感、硬軟感の影響が強く、高級感、快適感については、温冷感の影響が強いものの触覚に関する4因子すべてが影響すると考えられた。見ないで触った場合と見て触った場合では温冷感の評価は大きく異なり、粗滑感についてはあまり違いがなかった。実際の生活場面で見て触る機会が多いテーブル天板などは、視触覚条件でのパス図が参考になり、日常生活であまり意識してみることもない握り手や手すり、椅子の肘掛などについては、触覚条件のパス図が参考になると考えられる。

1. 緒言

手で触るという行動は、触った対象に対する所有感が増し、愛着感や購買意欲の向上に繋がるとの報告もあり、近年、製品の触感が重要視される傾向がある。皮や木材などの生体由来の素材は触感が好まれると言われており、自動車の内装材やパソコンの液晶カバー、壁紙などのプリント材のように様々な製品で、金属やプラスチックの触感を生体由来の素材に近づけるような試みがなされている。

本報告では、木材の触感とそれに伴う木材の印象評価の関係を明らかにすることを目的とし、触感を構成する5種類の次元¹⁾、のうち、凹凸感（マクロな粗さ）を除く、粗滑感、硬軟感、温冷感、摩擦感（乾湿感）について、これらの因子と、高次の印象評価である自然感、高級感、快適感との関係を調査した。

2. 調査内容

過去に実施した木材の触感に関するアンケート調査²⁾のデータをもとに共分散構造分析の一つであるパス解析を行った。

2.1 アンケート調査

37名の大学生（男性19名、女性18名）を対象に8種類の木材サンプルについて触感に関するアンケート調査を行った。アンケート項目は全部で8項目あり、粗滑感として「ざらざらしたーつるつるした」、硬軟感として「かたいーやわらかい」、温冷感として「つめたいーあたたかい」、乾湿感として「からっとしたーしっとりした」、自然感として「人工的なー自然な」、高級感として「安そうなー高そうな」、快適感として「心地の悪いー心地の良い」、嗜好性として「嫌いー好き」とした。SD法による7段階評価で、集計の際は、各評価用語の右側に配置した項目をプラスとして-3～+3の値を割り当てた。

アンケート調査は3日に分けて行い、サンプルを

^{*1} 試験研究部

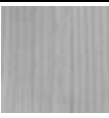
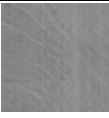
^{*2} 信州大学繊維学部

触らずに見た場合（以下、視覚条件）、見ないで触った場合（以下、触覚条件）、見て触った場合（以下、視触覚条件）の3つの条件で行った。今回は視覚条件については、パス解析は行わなかった。

2.2 木材サンプル

木材サンプルには、ブナ、スギ、ナラ、ブラックウォールナットの柾目材を使用し、それぞれオイル塗装、ウレタン塗装を施した計8種類をサンプルとして提示した（表1）。オイル塗装、ウレタン塗装の塗装工程については、図1に示す。

表1 木材サンプル

サンプル記号	樹種	塗装	外観（例）
BO	ブナ	オイル	
BU		ウレタン	
CO	スギ	オイル	
CU		ウレタン	
OO	ナラ	オイル	
OU		ウレタン	
WO	ブラックウォールナット	オイル	
WU		ウレタン	

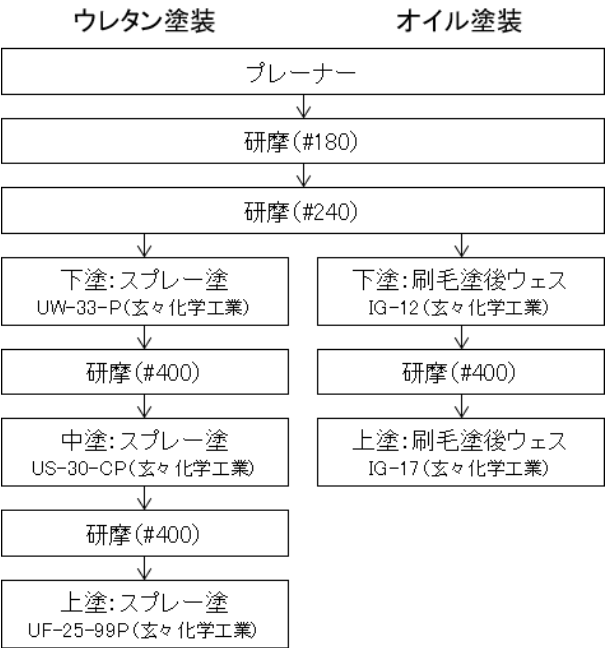


図1 木材サンプルの塗装工程

3. 仮説モデル

ここでは、嗜好性を除いた7つのアンケート項目をもとに木材の触感と印象評価に関する仮説モデルを作成した。

ある程度平滑で凹凸のない対象物の触覚は粗滑感、硬軟感、温冷感、摩擦感（乾湿感）の4種類の因子で構成される。これらの因子は基本的には独立して存在すると仮定するが、硬軟感、温冷感の2つに関しては、材料の密度に関係することも多く、物理的に関連性が強いと考えられたことから、相関関係を仮定した。乾湿感については、触覚に関わると考えられる感覚受容器³⁾は、触圧覚、温度感覚（温覚、冷覚）、痛覚、振動感覚であり、乾湿感を直接知覚する感覚受容器が存在しない。また、先行研究で粗滑感や温冷感との関連性が示唆されている⁴⁾ことや触察動作が硬軟感と粗滑感の複合的な動作であった⁵⁾ことから、乾湿感は粗滑感、硬軟感、温冷感の3つの感覚から複合的に知覚される感覚であると仮定した。

以上の仮定をもとに触覚に関する4つの因子と木材の印象評価との関係を調べるための仮説モデルを作成した。

4. 結果と考察

作成した仮説モデルに対して、パス解析を行った結果を図2、図3に示す。図中の片方向の矢印は原因—結果の因果関係を表し、両方向矢印は相関関係を示す。また、矢印の横に記載された係数は標準偏回帰係数（以下、パス係数）を示し、値が大きいほど関わりが強いことを示す。図中のeは誤差変数を示す。

パス係数の低かったパスを消去し、モデルの修正を試みたが、モデルの適合度やパス係数の値にほとんど違いはみられなかったため、修正前モデルをそのまま活用した。

図2は触覚条件のアンケート集計結果296ケース（標本数37名×8サンプル）を使用した分析結果である。カイ二乗検定の結果、仮説モデルは棄却されず、モデル適合度指標は良好であったため当てはまりの良いモデルだと考えられる。自然感¹⁾は、主に粗滑感と温冷感で決まり、ざらざらとして、あたたかいと感じるものほど自然な印象を受ける傾向があった。高級感²⁾は、主に乾湿感により決まり、間接的な影響も考慮すると粗滑感、硬軟感の影響も大きかった。つるつるとしてやわらかいこと³⁾でしっとりと感じ、しっとりと感じるものほど高そうな印象を受ける傾向があった。また、快適感⁴⁾は、主に粗滑感と乾湿感により決まり、間接的な影響も考

Chi-square: 0.134, df=2, p=0.935
 GFI: 0.994
 AGFI: 0.912
 RMSEA: 0
 AIC: 52.134

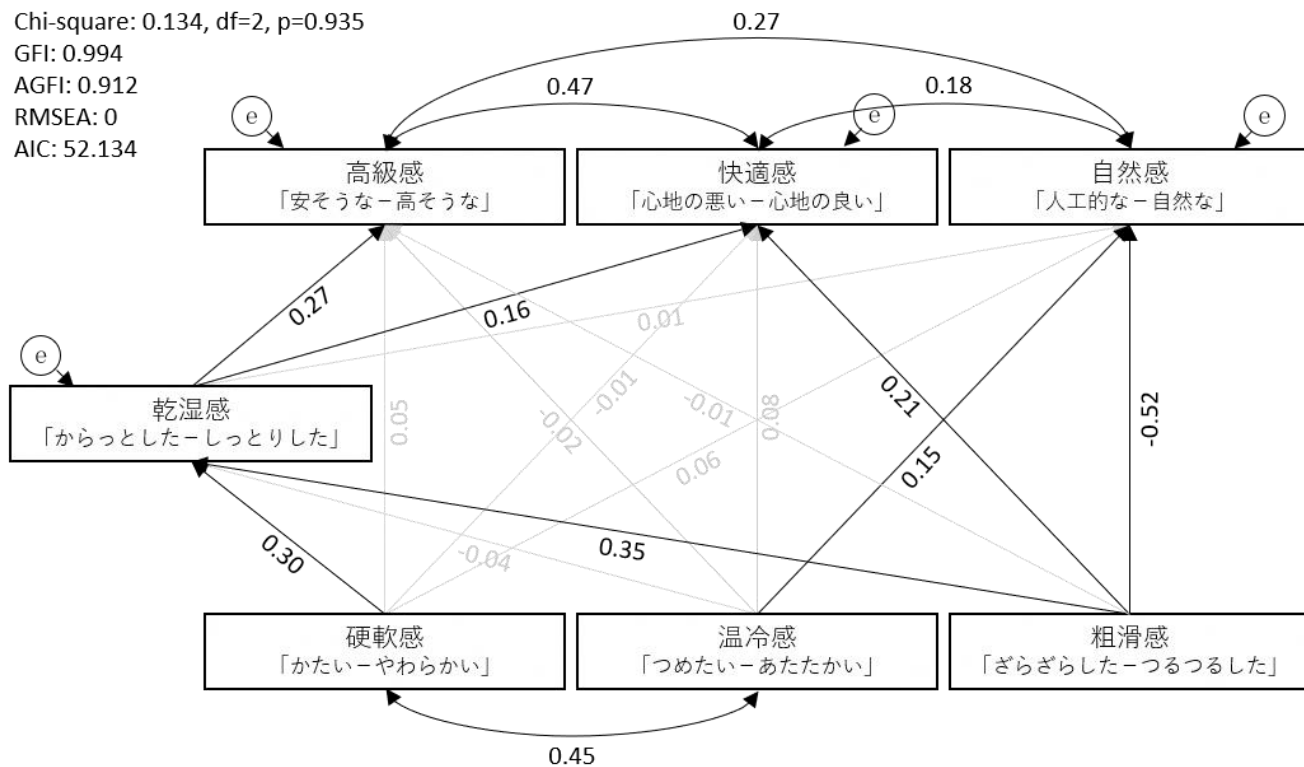


図2 パス解析の結果（サンプルを見ないで触った場合）

Chi-square: 0.791, df=2, p=0.673
 GFI: 0.966
 AGFI: 0.523
 RMSEA: 0
 AIC: 52.791

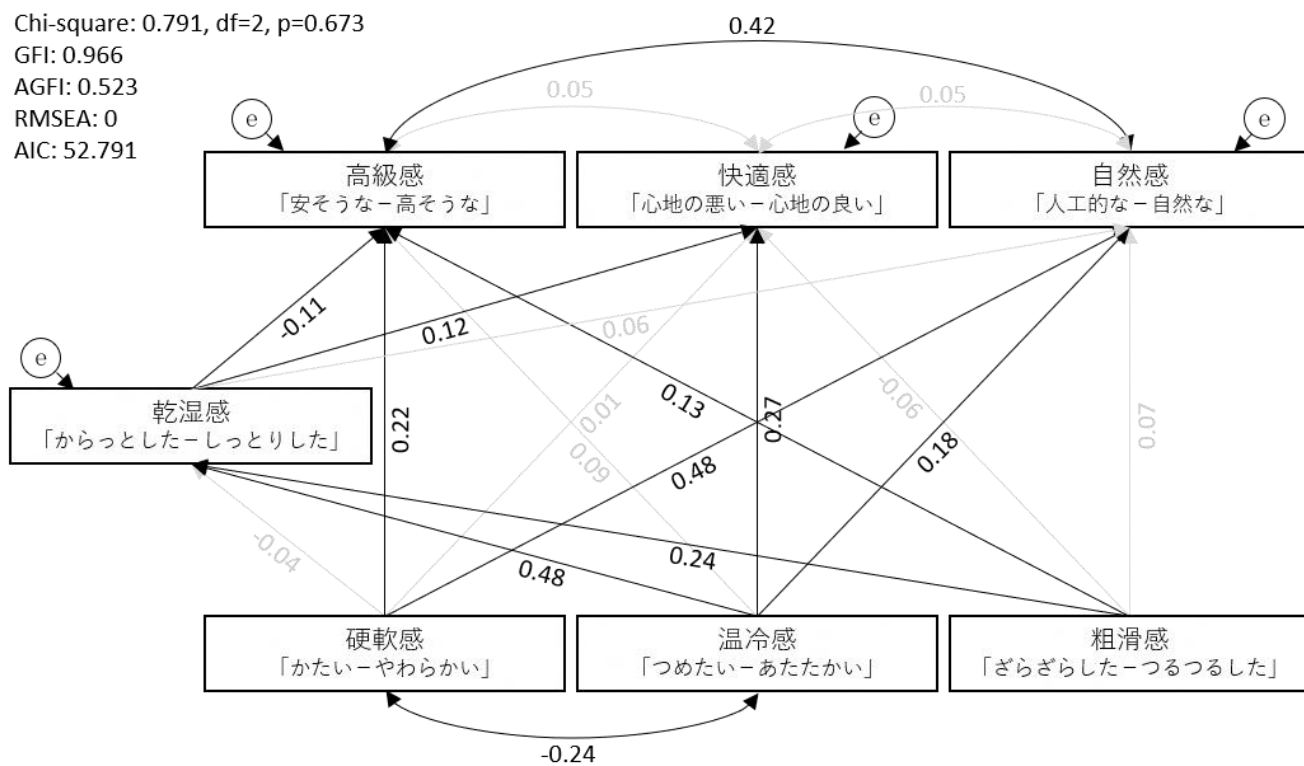


図3 パス解析の結果（サンプルを見て触った場合）

慮すると粗滑感の影響が最も大きく、次いで硬軟感の影響が大きかった。乾湿感は主に粗滑感と硬軟感で決まり、つるつるして、やわらかいものほどしっとりと感じ、しっとりと感じるものほど心地よいと感じる傾向があった。全体的にみると、触覚条件での木材の印象形成は、粗滑感の影響が強く、次いで乾湿感の影響が強いと考えられる。

図3は視触覚条件でのアンケート集計結果296ケース（標本数37名×8サンプル）を使用した分析結果である。カイ二乗検定の結果、仮説モデルは棄却されなかった。AGFIの値がやや低かったが、他のモデル適合度指標は良好であった。自然感は主に硬軟感と温冷感で決まり、やわらかくて、あたたかいと感じるものほど自然だと感じる傾向であった。高級感、主に硬軟感で決まり、間接的な影響も考慮すると、温冷感、粗滑感の影響が大きかった。やわらかく、つるつるして、あたたかいと感じるものが高そうな印象を与える傾向があった。快適感については主に温冷感、乾湿感で決まり、間接的には粗滑感の影響が多かった。あたたかく、しっとりとして、つるつると感じるものが心地よい印象を与える傾向があった。乾湿感、主に温冷感、粗滑感で決まり、あたたかく、つるつると感じるものがしっとりした感じを与える傾向があった。視触覚条件での木材の印象形成は、見ないで触った場合と比べて複雑で、自然感については温冷感、硬軟感の影響が強く、高級感、快適感については、温冷感の影響が強いものの触覚に関する4因子すべてが影響すると考えられる。

触覚条件と視触覚条件で最も大きいと考えられる違いは、温冷感の知覚であった。図4に触覚条件と視触覚条件での温冷感と最大熱吸収速度であるq-max値との関係を示す。触覚条件では、q-max値と温冷感が負の相関関係であるのに対して、視触覚条件では、その相関関係がなくなっていることが確認できた。視覚条件と触覚条件の両条件で他の樹種よりあたたかいと評価されたスギが視触覚条件では他の樹種よりもつめたいと評価されており、ブナやスギよりもつめたいと評価されたナラが視触覚条件では他の樹種よりも暖かいと評価されており、評価がほぼ逆転していた。これは、見た目の色合いと実際に触ったときのギャップが視触覚条件での温冷感の評価に影響したためだと推察される。このような温冷感の知覚の変化が乾湿感の知覚や快適感、自然感の印象評価に影響を与えることが考えられる。他の項目に比べて、粗滑感については、触覚条件と視覚条件での評価の違いは小さく（図5）、視覚情報による影響を受けにくい感覚であると考えられる。また、触覚条件では粗滑

感が自然感や快適感に関して直接影響していたが、視触覚条件では、間接的な影響のみになっており、視触覚条件での木材の印象評価は、視覚情報が支配的になることが示唆された。

実際の生活場面で見て触れる機会が多いテーブル天板などは、視触覚条件でのパス図が参考になると考えられる。また、日常生活であまり意識してみることのない握り手や手すり、椅子の肘掛などについては、触覚条件のパス図が参考になると考えられる。

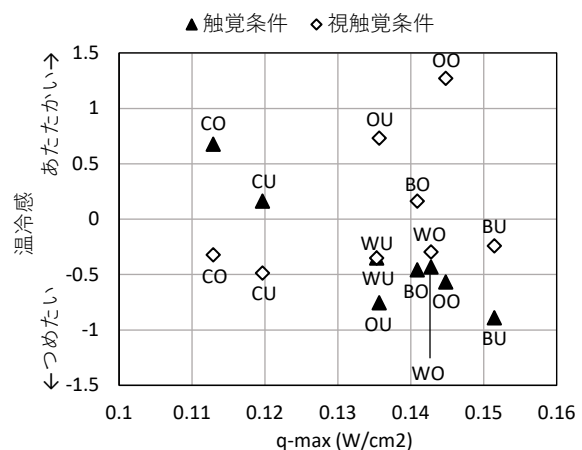


図4 温冷感の評価とq-max値

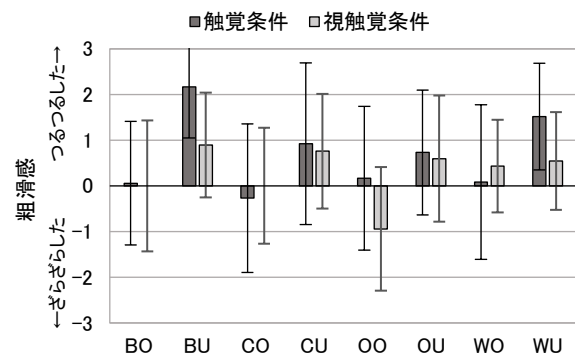


図5 条件ごとの粗滑感の評価

5. まとめ

本報告では木材の触感と印象評価の関係を明らかにすることを目的とし、触感を構成する4つの次元である粗滑感、硬軟感、温冷感、乾湿感について、木材の代表的な印象評価として自然感、高級感、快適感との関係を調査した。パス解析を行った結果、モデルの当てはまりは良好であり、以下の知見が得られた。

- ・触覚条件での木材の印象形成は、粗滑感の影響が強く、次いで乾湿感の影響が強いと考えられた。
- ・視触覚条件での木材の印象形成は、触覚条件と比

べて複雑で自然感については温冷感、硬軟感の影響が強く、高級感、快適感については、温冷感の影響が強いものの触覚に関する4因子すべてが影響すると考えられた。

- 触覚条件と視触覚条件では温冷感の評価が大きく異なり、触覚条件では、q-max値と温冷感が相関しているのに対して、視触覚条件では、その相関関係がなくなっていることが確認できた。見た目の色合いと実際に触ったときのギャップが視触覚条件での温冷感の評価に影響したためだと推察された。
- 触覚条件と視触覚条件で、粗滑感についてはあまり違いがなく、視覚情報による影響を受けにくい感覚であると考えられた。
- 視触覚条件での木材の印象評価は、視覚情報が支配的になることが示唆された。

今後の課題として、触感を構成する4つの次元である粗滑感、硬軟感、温冷感、乾湿感と関連性の高い木材の物理特性値の選定、今回の調査ではまだ不明な点の多い温冷感と硬軟感の視覚による影響やそれに伴う乾湿感の変化を明らかにすることがあげられる。

謝辞

研究にご協力いただいた信州大学繊維学部吉田研究室卒業生の設楽稔那子様、加我直人様、解析に関するご助言をいただいた早稲田大学理工学術院総合研究所客員教授の三家礼子様、また、アンケート調査にご協力いただいた信州大学の学生の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 永野光, 岡本正吾, 山田陽滋: 触覚的テクスチャの材質感次元構成に関する研究動向, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.3, pp.343-353, 2011.
- 2) 設楽稔那子ほか: 木材評価時における視触覚の印象形成, 木材学会誌, Vol.63, No.4, pp.149-161, 2017.
- 3) 真島英信: 生理学 改訂第18版, 文光堂, 1986.
- 4) 岡野健: 木材と感性 3.触感覚と木材, 材料, Vol.46, No.9, pp.1112-1117, 1997.
- 5) 加我直人: しっとり感評価時の触察動作に関する研究, 信州大学繊維学部修士論文, 2020.
- 6) 豊田秀樹: 共分散構造分析 [入門編] - 構造方程式モデリング, 朝倉書店, 1998.
- 7) 豊田秀樹: 共分散構造分析 [応用編] - 構造方程式モデリング, 朝倉書店, 2000.
- 8) 山田正(編): 木質環境の科学, 海青社, 1987.

家具製造現場におけるトレーサビリティ基盤技術の開発（第2報） OpenCV.jsを用いた画像認識による棚卸支援Webアプリケーションの開発

森茂智彦*, 藤巻吾朗*

Basic Technology Development of Traceability in the Furniture Manufacturing Field (II) Development of Inventory Support Web Application by Image Recognition Using OpenCV.js

MORIMO Tomohiko*, FUJIMAKI Goroh*

木製家具製造業における部材の在庫数のカウントを支援するWebアプリケーションを開発した。スマートフォンやタブレット上で部材棚の写真を撮影し、画像上の部材をタップすることで個数をカウントする。印が表示されるため、カウントミスを防止できる。また、タップの労力を減らすため、OpenCV.jsを用いて、画像認識により部材を検出し自動でカウントする機能を追加した。結果、一部の部材で労力の低減が図れたが、部材の径によっては、誤検出の修正による労力の方が大きい場合があるため、パラメータを調整する必要がある。

1. 緒言

棚卸は、会社の利益の把握や在庫管理に必要な作業である。製造業の棚卸では、組立後の製品だけでなく、組立前の部材の個数を把握する必要がある。中でも木製家具製造業は、多品種少量生産であり、さらに自社製品、OEM製品など多くの種類の製品を製造しているため、棚卸作業に多くの時間を費やしている。特に、丸棒のような部材は、図1のように、棚の中に規則的に並んでいるとは限らないため、数えている最中に、数え終えたものとまだ数えていないものの区別が分からなくなったり、丸棒が転がり配置が変わることでやり直しとなったりすることがあるため、効率良く在庫数をカウントできることが求められている。

在庫管理に関する研究として、Webアプリケーションを用いた例がある¹⁾。Webアプリケーションは、端末に依存せず利用可能であり、運用後のソフトウェアの変更が容易であるという特長がある。特に、棚卸のような複数人で行う作業の場合、各自のスマートフォンやタブレットで利用できることは、コストをかけず、使い慣れた端末で操作できるため、その効果は大きい。そこで本研究では、棚卸時の労力を減らすため、部材の在庫数のカウントを支援するWebアプリケーションを開発したので結果を報告

する。



図1 不規則に並ぶ丸棒の例

2. カウント支援アプリケーション

2.1 概要

開発したWebアプリケーションの画面を図2に示す。スマートフォンやタブレットで部材棚の写真を撮影し、写真上の部材をタップする。タップしたところは印が表示される。同時に、タップした回数がカウントされるため、全ての部材をタップすることにより、在庫数を把握することができる。

予め撮影した写真を読み込んでカウントすることもできる。この場合は、部材棚の写真をまとめて撮影しておき、後からカウント作業のみを行うといった使い方が想定される。

* 試験研究部

間違えてタップした場合は、戻るボタンを押して、タップする前の状態に戻すか、消したい印をタップした後、消すボタンを押す。同時に、カウントした個数は、1減算される。または、印をタップすると動かせるため、正しい位置に移動させる。

本アプリケーションを使用することで、部材に印が表示されることによりカウントミスを防ぐことができる。また、カウント中に部材の配置が変わることがなく、作業者は部材をタップすることに意識を集中すれば良いため、労力を減らすことができる。

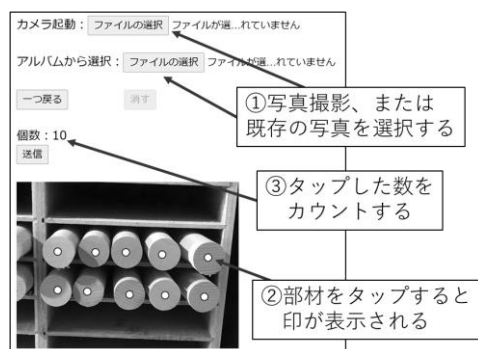


図2 Webアプリケーション画面

2.2 Webアプリケーションの実装

Webアプリケーションは、HTMLとJavaScriptを用いて作成した。

画像の読み込みと印の表示には、Fabric.js²⁾を用いた。Fabric.jsは、HTML5のCanvas要素上で図形の描画・サイズ変更・削除などの操作を行うことができるJavaScriptライブラリである。読み込んだ画像はCanvas要素の背景画像に設定し、タップ時に追記する印を描画するようにした。印の表示には、印の中心がタップした位置となるよう、下記位置を印の中心とした。

```
left:event.pageX - $("#canvas").offset().left-radius
top:event.pageY - $("#canvas").offset().top-radius
#canvas : canvas要素のid
radius : 赤丸の半径
```

2.3 評価と考察

作成したアプリケーションの評価を実施した。企業の棚卸担当者にアプリケーションを用いて部材数のカウントを行ってもらい、意見を聞いた。結果を下記に示す。

- ・部材数が多くなるとカウントに労力を要する
- ・個数が少ないものは、手で数えた方が早い
- ・写真を撮影しておけば別室でカウント作業ができる点は良い

これらの結果から、個数が多いものを対象に、さらに労力を減らすため、カウント時のタップ数を減らすことが必要と考える。

3. 画像認識機能

前項の評価結果を受け、画像認識技術により、自動で部材を認識しカウントする機能の追加を行った。

3.1 方針

家具製造業では、椅子の貫部材などのように、1脚で複数本使用する部材は、相対的に在庫数が多くなる。木製家具製造業者から聞き取りしたところ、中でもろくろで加工した部材が特に多く、まずはこの部材を対象とする。

図1はろくろ加工品である。家具用途において、ろくろで加工する部材は端までろくろ加工することがほとんどであり、それにより端面が丸型となる。そこで、本研究では、この端面の丸形状を認識し、カウントすることとする。

3.2 画像認識機能の実装

画像認識には、OpenCV.js³⁾を用いる。OpenCV (Open Source Computer Vision Library) は、オープンソースの画像処理ライブラリであり、OpenCV.jsは、OpenCVのJavaScript版である。

本研究では、部材端面の丸形状を認識するため、Hough変換を用いて円を検出するHoughCircles関数を用いる⁴⁾。この関数はグレースケール画像から円を検出するため、撮影後の画像をグレースケール画像に変換する必要がある。なお、OpenCV.jsのバージョンは、4.5.1を用いた。

3.3 評価と考察

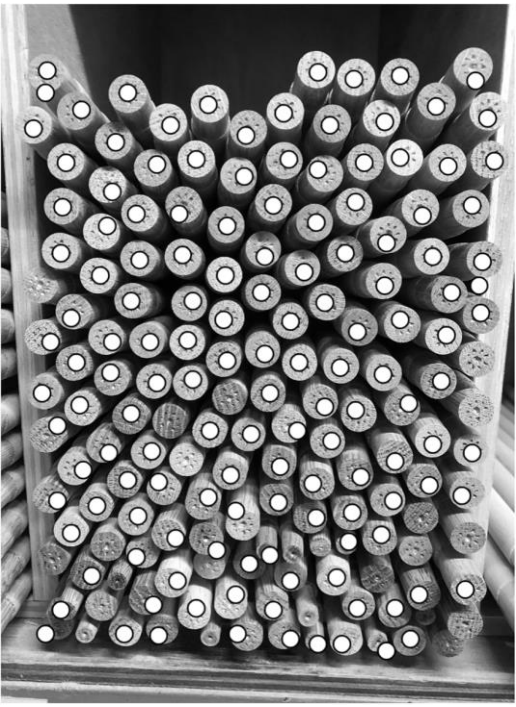
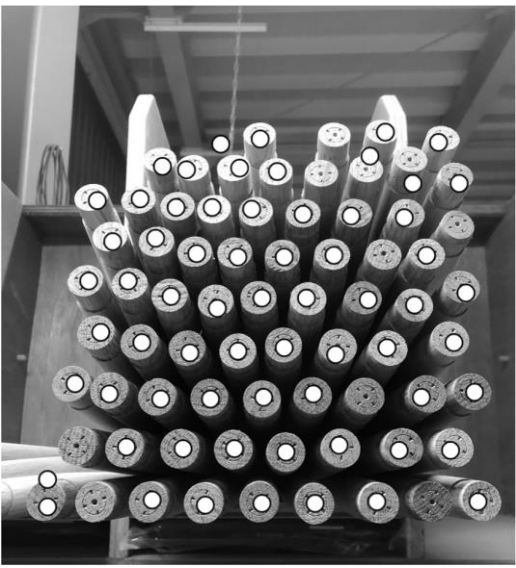
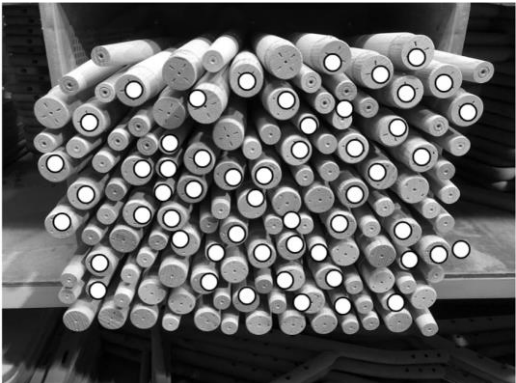
3.3.1 検出条件と結果

6種類の部材棚の写真撮影し、画像認識を用いて部材の検出を行った。検出に用いるHoughCircles関数の引数（パラメータ設定）を表1に、部材棚の写真とその検出結果を表2に示す。

表1 引数の設定値

引数名	設定値
method	CV_HOUGH_GRADIENT
dp	1
minDist	13
param1	80
param2	20
minRadius	5
maxRadius	20

表2 部材棚の写真と検出結果

No	写真	検出結果
1		
2		
3		



3.3.2 精度評価

表2の結果から、カウントの精度を式 (1) (2) によって評価する。

$$\text{再現率} = \frac{\text{検出正解数}}{\text{正解総数 (部材数)}} = 1 - \text{未検出率} \quad (1)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{検出正解数}}{\text{検出総数}} = 1 - \text{誤検出率} \quad (2)$$

精度評価結果を表3に示す。No.1,2,4については、再現率・適合率ともに85%以上となり、高い検出精度が得られた。No.3については、径が小さい部材が多く、撮影角度が部材に対し水平でないため、丸と判断されず、再現率が低くなったと考える。No.5,6については、径が大きいため、撮影角度が傾いていても再現率は高くなったが、1個の部材につき2個検出されることがあった。このことから、撮影角度をできるだけ水平にし、径によってHoughCircles関数のパラメータを変える必要があると考える。

表3 精度評価結果

No	1	2	3	4	5	6
正解総数	164	72	130	96	22	24
検出総数	143	66	54	89	42	40
検出正解数	141	63	52	84	22	21
再現率	86.0%	87.5%	40.0%	87.5%	100.0%	87.5%
適合率	98.6%	95.5%	96.3%	94.4%	52.4%	52.5%

3.3.3 考察

画像認識機能を用いることにより、労力がどの程度低減したかを考える。

画像認識によるカウント後、正しい部材数を得るため、未検出の部材に印を付ける作業と、誤検出した印を消す作業が必要となる。この修正作業による労力と、画像認識機能を使用せずカウントした場合の労力を比較する。今回は、画面をタップする回数が多いほど労力が大きいため、それぞれの場合での総タップ数を比較する。

画像認識機能ありの場合は、未検出の部材に印を付ける場合を1タップ、誤検出した印を消す場合を2タップ（選択、消去）とし、修正に必要な総タップ数を計算する。

画像認識機能なしの場合は、全ての部材をタップして印を付けるため、カウントに必要な総タップ数は、部材数と同じである。

総タップ数を計算し比較した結果を表4に示す。No.1,2,4については、総タップ数の減少率が高く、労力の低減効果が高い結果となった。No.3については、効果は低いが労力の低減は見られた。No.5,6に

ついては、画像認識なしの場合よりも画像認識ありの場合の方が総タップ数は多い結果となり、労力の低減は見られなかった。つまり、表3で再現率が最も低いNo.3よりも、No.5,6の方が労力の低減効果は低い。これは、未検出した場合より誤検出した場合の方が修正のためのタップ数が多いためである。よって、さらなる労力の低減のためには、まず誤検出数を減らすこと、つまり適合率を高めることが求められると考える。

表4 総タップ数の比較結果

No		1	2	3	4	5	6
画像認識 なし	総タップ数 (正解総数)	164	72	130	96	22	24
画像認識 あり	未検出数	23	9	78	12	0	3
	誤検出数	2	3	2	5	20	19
	総タップ数	27	15	82	22	40	41
総タップ数の差		137	57	48	74	-18	-17
総タップ数の減少率		83.5%	79.2%	36.9%	77.1%	-81.8%	-70.8%

4. その他の追加した機能

今回開発したWebアプリケーションで、実装した他の機能を紹介する。

4.1 サーバーへ送信する機能

送信ボタンを押すと、部品番号や型式とカウントした個数をサーバーへ送信する機能である。画面に部品番号・型式入力欄と送信ボタンを追加し、送信部分はPHPで作成した。用途として、サーバー側で在庫数を自動で取り纏める場合が想定される。

4.2 QRコードを読み込む機能

部材の型式をQRコードで読み込む機能である。部材棚に予め部材の部品番号や型式を記録したQRコードを貼り付けておく。棚卸時に、このQRコードを端末のカメラで読み込むことで、4.1項の部品番号欄・型式欄に値が自動で入力される。

QRコードの読み込みには、jsQR.jsを用いた⁵⁾。このライブラリでは、カメラでQRコードを読み込む際に、サーバーがSSL化されている必要がある。

5. まとめ

木製家具製造業における在庫数のカウントを支援するWebアプリケーションを開発した。部材棚の写真撮影し、画像上の部材を順にタップして印を付けることで、そのタップした回数をカウントする。

部材数が多い場合のタップの労力を低減するため、OpenCV.jsによるHough変換を用いた画像認識により、端面が丸形状の部材の個数を自動でカウントする機能を実装した。結果、部材の径によっては良好な結果が得られた。

今後は、部材の径によって画像認識のパラメータを調整する必要がある。また、使いやすさの評価を行っていきたい。

謝辞

研究のきっかけを作ってください、同時に多くのご意見をいただきました飛騨産業株式会社の関係者の方々、画像認識に関する有益なご助言をいただきました岐阜県産業技術総合センター研究員の生駒晃大氏にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 菅野幸貴ら：産地直売所における在庫管理支援のためのwebアプリケーションの開発，情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集，Vol.70, No.3, pp.151-152, 2008.
- 2) Fabric.js Javascript Canvas Library：
<http://fabricjs.com/>, 2021 年 2 月 4 日参照.
- 3) OpenCV：OpenCV.js Tutorials,
https://docs.opencv.org/4.5.1/d5/d10/tutorial_js_rot.html, 2021 年 2 月 10 日参照.
- 4) OpenCV：Hough Circle Transform,
https://docs.opencv.org/4.5.1/d3/de5/tutorial_js_houghcircles.html, 2021 年 2 月 10 日参照.
- 5) jsQR.js：<https://github.com/cozmo/jsQR>, 2021 年 2 月 10 日参照.

国産早生樹種の用材利用に向けた材質・加工特性の解明（第2報） 国産早生樹種の利用用途の提案

村田明宏*, 長谷川良一*, 沼澤洋子*, 森 順子*

Elucidation of Material and Processing Characteristics for Use of Domestic Fast-Growing Tree Species (II) Proposal of Application of Domestic Fast-Growing Tree Species Woods

MURATA Akihiro*, HASEGAWA Ryoichi*, NUMAZAWA Youko*, MORI Jyunko*

寒冷地でも生育可能な早生樹であるハンノキを新たに加えた早生樹4樹種について、家具および内装材としての適性を評価するため、昨年度実施した耐おもり落下性・引っかき硬さ試験の変形量についてデータの蓄積を図った。また、ユリノキについて樹高別の表面性状の違いを評価した。その結果、同じ塗装でも樹種により評価が異なり、利用用途に合った塗装仕上げとすることが必要であることがわかった。また、表情が豊かな環孔材のセンダンについて、使用量は少ないが新たに展開を図るため、工芸的利用を試み我谷盆と銘々皿を試作した。試作では、天然系オイル塗装は吸込み量が多くいつまでも溶剤臭がするなどの問題点が明らかとなった。

1. 緒言

日本の森林は戦後植林したスギ・ヒノキが60年生を過ぎ高齢級化しておりその蓄積量は多い。一方、スギ・ヒノキを伐採後の再生林については、植栽可能樹種のニーズの多様化、輸入広葉樹の供給不安などを背景に、国産早生樹種の生産・利用への期待が高まっている。10～25年生程度の短伐期で収穫できることから、近年のSDGsへの対応、人工林資源の循環利用の促進や林業の収益性改善の点から期待されている。しかし、国産早生樹種に関しては、基礎データが整備されておらず、センダン等一部の樹種について作り手の経験と勘に頼ったものづくりが行われている状況であり、工業的利用に供されているとは言い難い。このため、国産早生樹種について、地域性を踏まえた生産（植林・造成）と、木材産業において利用可能なデータ集の整備、その用途別の利用適性を示すプロジェクト研究を国立研究開発法人森林総合研究所が核となって実施している。本研究はプロジェクトの分担課題として「用途別の利用適性の確認とその評価」を担当し、家具・内装材として適性かどうかを判断する評

価手法について、取り組んでいる。今年度は前年度実施した適正評価法を基本としてデータの蓄積を図った。また、利用適性を確認する手段として、工芸的利用を試みた。

2. 実験方法

2.1 供試材料

2年目の試験材として、昨年度の早生樹種に加え寒冷地でも生育可能なハンノキを新たに加え供試材とした。早生樹材についてはまだ市場で流通している素材が少なく、現在の木材市場流通ルートで入手可能なユリノキ（*Liriodendron tulipifera*）、ハンノキ（ヤマハンノキ *Alnus hirsuta*）、センダン（*Melia azedarach*）を試験体として用いた。また、他の森林総合研究所のプロジェクトチームと連携した木材については、ユリノキ（樹高別）、ユーカリ（*Eucalyptus vimviminaris*）を試験体として入手しデータの蓄積を図った。

2.2 評価方法

前年度の実績¹⁾を踏まえ、JIS：日本産業規格（JIS K 5600 塗料一般試験方法、K 5961 屋内木床塗料）とJAS：日本農林規格（JAS 特殊加工化粧合板、フローリング）を参考に以下の試験を実施した。また、

* 試験研究部

木材の硬度試験であるブリネル硬さ（JIS Z 2101 木材の試験方21表面硬さ）を実施し関連性を検討した。

2.2.1 塗装

今年度前半の試験では、前年度と同様に塗装はウレタン塗料（溶剤系、水系）、オイル塗料（自然系、ウレタン系）の4種とし、P240で研磨処理したのちに各塗料所定の標準仕様の工程で刷毛塗りし、20℃以上で乾燥後、定常状態〔23℃、50RH〕で1ヶ月養生して試験に供した。また、後半の試験では塗料を家具・内装材での利用が多い、溶剤系ウレタン塗料、自然系オイル塗料の2種に絞り込んで評価を行った。なお試験に用いた塗料は、昨年同様「F☆☆☆☆」かつ「食品衛生試験に対応」した市販の汎用塗料を用い、無塗装を対照とした。

2.2.2 評価試験

塗膜の一般的試験環境〔23±1℃、50±3%RH〕で、下記により各評価試験を実施した。

- ①摩耗試験〔耐摩耗性摩耗輪法 JIS K 5600-5-9〕：テーバー形摩耗試験機（硬質摩耗輪：CS17、荷重 4.90N）で100回転実施し前後の摩耗減量を測定しテーバー摩耗指数を求めた。
- ②衝撃試験1〔耐おもり落下性 デュポン式 JIS K

5600-5-3 3.3〕：デュポン式衝撃試験機（落下高さ 300mm、質量300g）により試験後の表面観察と凹み深さをマイクロメーターで測定した。

- ③衝撃試験2〔耐おもり落下性 落球式 JIS K 5600-5-3 3.2〕：落球式衝撃試験機（高さ：750mm、質量500g）により試験後の表面観察と凹み深さをマイクロメーターで測定した。
- ④引っかかり硬度試験（鉛筆法）：鉛筆引っかかり試験機（手動機械式、日本塗料検査協会検定鉛筆使用）により、凝集破壊（塗膜の割れ・剥がれ）、塑性変形（凹み傷）の確認をするとともに、HB・2Hで引っ掻いた後の凹み量をレーザー顕微鏡の形状測定機能により測定した。
- ⑤表面硬さ試験（ブリネル硬さ）：オートグラフを使用し、荷重：速度 0.5mm/min 約0.32mm圧入した時の最大荷重（N）を測定した。

3. 結果と考察

3.1 評価試験の結果

評価結果を表1に示す。

- ①摩耗試験：今回の試験では摩耗指数（削られた重さ）と厚みの減少量との関係が明確でないものが散見された。その原因追及をするともに、利用用途で問題がないかを今後検討したい。数値としては、ユリノキの水系ウレタン塗装を除き木

表1 ユリノキ、ハンノキ、センダンの評価結果

樹 種	塗 料	耐摩耗性		耐おもり落下性		引っかかり硬度（鉛筆法）	
		テーバー 摩耗指数	厚さ減少量 [μm]	デュポン式 変形量	落球式 変形量	塑性変形	凝集破壊
ユリノキ	無塗装	13.6	10	0.660	0.715	6B以下	—
	溶剤系ウレタン	4.8	17	0.564	0.675	6B以下	H
	水系ウレタン	16.8	23	0.615	0.677	6B以下	5 B
	天然系オイル	13.7	6	0.558	0.689	6B以下	—
	オイル調ウレタン	7.1	16	0.411	0.669	6B以下	—
ハンノキ	無塗装	12.6	16	0.427	0.653	6B以下	—
	溶剤系ウレタン	14.8	14	0.549	0.620	6B以下	B
	水系ウレタン	4.6	15	0.604	0.648	6B以下	6 B
	天然系オイル	11.4	14	0.568	0.629	6B以下	—
	オイル調ウレタン	10.8	7	0.471	0.574	6B以下	—
センダン	無塗装	11.0	31	0.511	0.596	6B以下	—
	溶剤系ウレタン	9.5	25	0.463	0.877	6B以下	6B以下
	水系ウレタン	10.5	16	0.596	0.682	6B以下	3 B
	天然系オイル	14.1	13	0.635	0.607	6B以下	—
	オイル調ウレタン	9.0	14	0.593	0.608	6B以下	—

床塗料の規格である減量15mg以内でありフローリングの床材として規格内と判断された。塗料別にみると、含浸タイプのオイル調ウレタンによる塗装がすべての樹種で耐摩耗性向上に寄与している。また素材の質感を生かすためによく利用される天然系オイル塗装は無塗装と同等の性能しか示さなかった。溶剤系ウレタンはユリノキ・センダンで、水系ウレタンはハンノキで耐摩耗性向上に効果があり、樹種により使用する塗料との相性があることがわかった。

- ②耐おもり落下性試験（デュポン式）：すべての試験体において凹みが発生した。ユリノキについては塗装効果により変形量が少なくなったが、ハンノキ・センダンについては塗装により変形量が大きくなったものも見られた。木材の利用用途により最適な塗料を選択する必要がある。
- ③耐おもり落下性試験（落球式）：②と同様にユリノキは塗装効果があった。またハンノキはオイル調ウレタンで変形量が少ない。センダンについては塗装したものすべてが無塗装と比べ変形量が大きくなっていることから、落球のような一瞬の衝撃圧縮では塗装しない方が復元性（戻り）があるのではないかと考えられる。
- ④引っかかり試験（鉛筆法）：溶剤系ウレタン塗装では表面が柔らかいユリノキでHを示したが、ハンノキ・センダンではB以下で凝集破壊（塗膜割れ）を示した。ユリノキについては、塗料の吸込み量が多く下塗りですっかり固めた後、上塗りをするにより高い数値を示した。センダンについては高い数値を期待したが6Bで凝集破壊をおこすなど前年との違いが顕著であり、今後もデータの蓄積が必要である。

鉛筆濃度記号と凹み量との関係を図1に示す。ユリノキは濃度記号が上がる（硬くなる）に従って凹み量が増加するが、ハンノキ・センダンについては明確な関係が得られなかった。

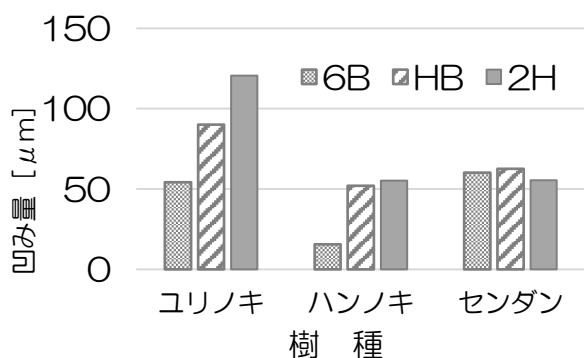


図1 鉛筆引っ掻き傷の凹み量の測定例（無塗装）

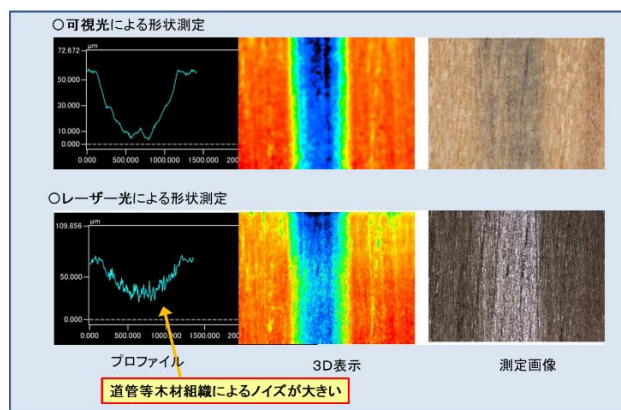


図2 引っかかり硬さ試験のレーザー顕微鏡による測定例

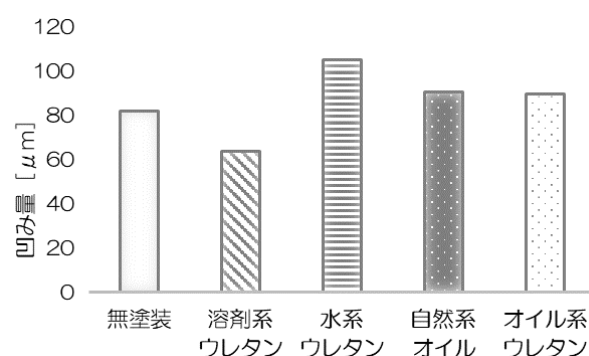
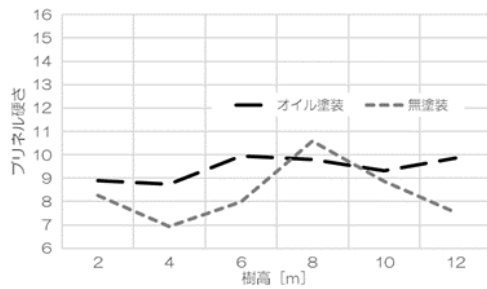


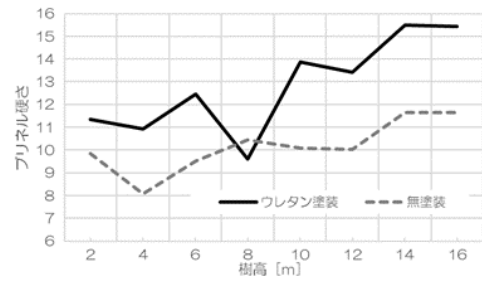
図3 ハンノキの引っかかり硬度試験（2H）による塗装別の凹み量の違い

前年度のマイクロスコープによる深さ方向の解析については、今年度はレーザー顕微鏡による測定により精度向上に努めた。図2に示すように、レーザー顕微鏡でも可視光による形状測定とレーザー光による形状測定では差がある。レーザー光は測定スポット径が小さいため道管などの木材組織に落ち込むためノイズのような凹凸があらわれている。特にセンダンなど道管径の大きい素材で凹凸が大きいことから、今回は可視光による測定値とした。今後もデータの蓄積を図り、用途別の利用適性の評価方法となりえるか進めて行きたい。次にハンノキの引っかかり硬度試験（2H）による塗装別の凹み量の違いを図3示す。これを見ると溶剤系ウレタンでは変形量が少なくなっているが、他の塗料では無塗装のものより大きくなるものもあった。ハンノキの利用については造膜型の塗料である溶剤系ウレタンが適している。

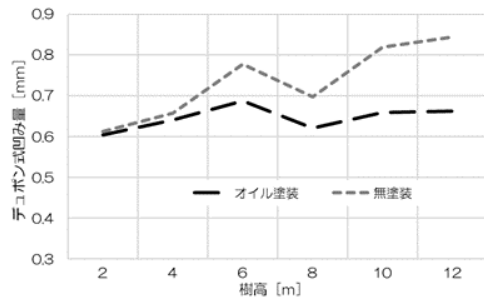
- ⑤ユリノキの樹高別材の評価結果：ユリノキ材を樹高2m毎に材料を入手することができたため、12mまでの材にオイル塗装を、16mまでの材に溶剤系ウレタン塗装を施した。図4に樹高とブリネ



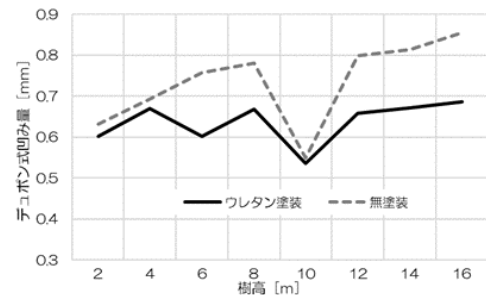
ブリネル硬さ (オイル塗装)



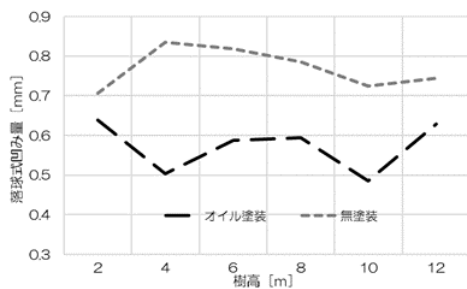
ブリネル硬さ (ウレタン塗装)



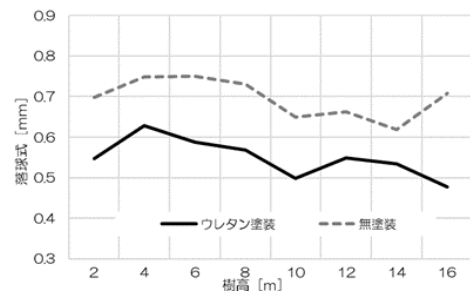
デュポン式凹み量 (オイル塗装)



デュポン式凹み量 (ウレタン塗装)



落球式凹み量 (オイル塗装)



落球式凹み量 (ウレタン塗装)

図4 ユリノキの樹高別の各試験結果

ル硬さ、耐おもり落下性試験デュポン式、落球式の凹み量を示す。ウレタン塗装をしたユリノキのブリネル硬さと耐おもり落下性試験（落球式）の凹み量変化を見ると樹高が高くなるほど硬くなる（変形量も少なくなる）傾向が見られた。しかし、耐おもり落下性試験（デュポン式）の凹み量変化を見ると塗装をすることにより無塗装材との差が低減化され、樹高によらず均質化する傾向がある。樹高別に関しては、今後データ数を増やし、部位別密度との関連を明らかにすることは利用上必要である。

3.2 評価試験のまとめ

摩耗試験結果より、どの樹種もフローリングの床材として規格内であり家具および内装材として利用可能である。また、耐おもり落下性試験からそれぞれの樹種に適した塗料があることがわかった。

引っかかり硬度試験（鉛筆法）より、すべての樹種において、ウレタン・オイル塗装による塑性変形の評価は6B以下と表面が柔らかいことが利用上課題となる。このため次年度は圧密化や無機有機ハイブリッド塗料などのハードコート塗装など樹種に応じた表面硬度の向上を図り、家具・内装材として広く利用できるよう取り組みを進める予定である。次に、評価手法の適正化であるがまだデータ量が少なく本当に有効な評価法であるか判断できて

いない。今後もデータの蓄積を重ねて検証を進めて行きたい。

3.3 利用用途の新たな提案

早生樹の用途開発で、家具・建材以外で考えたとき、使用量として多くはないものの新たな展開が期待できないか工芸的利用を模索した。また、実際の製品を作成することで問題点が出てこないかを検証した。

3.3.1 試作

家具ではケヤキ材の代替でセンダンが利用されている²⁾ことから、早生樹でも表情が豊かな環孔材であるセンダンについて、工芸的利用を試みた。センダンは年輪幅が大きく面白みに欠けることから、更なる表情の追加のため、荒々しいノミの彫り跡がある我谷（わがた）盆を選定した。さらに派生製品としてノミ跡を施した銘々皿を作成した。凹凸加工については機械式の電動彫刻機（ノミ）を利用した。また、一次試作では我谷盆の素材特性を生かすため天然系オイル塗装仕上げを実施したが、塗料の吸込みが大きく、表面は乾燥しているが内部は未乾燥で溶剤臭がかなり長く強く続いた。このため、二次試作ではオイル調ウレタン塗料で塗装した。同様に、銘々皿も同様の塗装をした。

3.3.2 試作結果

早生樹の新たな利用用途の開発として凹凸加工を施した我谷盆（トレイとしてA4サイズが収納可能な $340\times 250\times 20\text{mm}$ の盆）、角型銘々皿（ $130\times 130\times 7\text{mm}$ の皿）を試作した。環孔材の木目の美しさと素朴な彫り跡を持つ、粗削りで無骨な盆・皿である。

今回の試作から、早生樹材は塗料の吸込み多いため、塗料によっては吸い込み止めの下地処理が必要であることがわかった。また、このような凹凸加工（なぐり加工）による高付加価値化が期待できるため、床材・壁面材などへの凹凸加工による用途展開が期待される。

3.4 今後の研究の進め方

評価手法の最適化として実施した耐おもり落下性試験（デュポン式）、耐おもり落下性試験（落球式）、引っかかり硬度試験（鉛筆法）による木材の変形量評価について、実施数が少なく想定外のデータも散見されることから、今後もデータの蓄積を進める予定である。また、木材硬さであるブリネル硬さなどとの関係性についても検証していきたい。

建材（床材）、家具（テーブル）への利用用途



写真1 試作した我谷盆（わがたぼん）



写真2 試作した角型銘々皿

のためには表面硬度を向上させる必要がある。このため木工用の無機・有機ハイブリッド塗料などによる硬度向上を試みたい。

最終年度は、利用用途の提案として実際の製品化で不具合があるかどうかを検証するため、センダンによる曲木家具、ユリノキ・コウヨウザンによる圧密フローリング・壁材などの試作を行い、利用用途の提案としてまとめる予定である。

4. まとめ

家具および内装材としての塗装適性では早生樹材であることに起因する問題がみられないため、一般的に木工製品に利用されるウレタン塗装とオイル塗装による評価を実施しデータの蓄積に努めた。また、適正評価の指標である変形量の計測については、引っかかり硬度試験の凹み量の測定をレーザー顕微鏡に変更しデータの精度向上に努めた。

樹種別では、ユリノキについて樹高別の材料を

入手し樹高による影響を調べたところ実用上の問題はなかった。センダンについて工芸的利用を試み、製品化する場合の問題点の洗い出しを図った。

謝辞

本研究は、令和2年度国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクトの委託研究により実施したものである。主査の森林総合研究所木材研究部門杉山真樹様をはじめご助言いただきましたプロジェクト参加メンバーの皆さまに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 村田明宏、長谷川良一、河合真樹：国産早生樹種の用材利用に向けた材質・加工特性の解明（第1報），岐阜県生活技術研究所令和元年度研究報告, No.22, pp.50-54, 2020.
- 2) 共同組合福岡・大川家具工業会地域開発部会：地域座開発プロジェクト，SOUSEIカタログ，SENDAN WEB, 2021.

超撥水処理による木材の耐水性向上（第1報） シランカップリングによるセルロースの撥水処理

三井勝也*, 伊藤国億*

Improvement of Water Resistance of Wood by Superhydrophobic Treatment (I) Hydrophobic Treatment of Cellulose using Silane Coupling Agent

MITSUI Katsuya*, ITO Kuniyasu*

木材の耐水性向上を目的に、シランカップリングによる木材表面の撥水処理を行うための基礎データ収集のため、本研究では市販セルロースろ紙に12種のシランカップリング剤を反応させ、その撥水性を接触角測定で評価した。12種類中、1種類（オクタデシルトリエトキシシラン ($C_{24}H_{52}O_3Si$)）はセルロースと反応しなかった。アルキル系シランカップリング剤5種では、平均接触角が約 $117^\circ \sim 130^\circ$ 、フルオロ系シランカップリング剤6種では、接触角約 $98^\circ \sim 138^\circ$ を示した。

1. 緒言

近年、木材の良さが再認識され、木材の屋外利用が盛んになっている。木材を屋外で利用するには、耐候性や耐水性などを向上させる必要がある。これまでに、当研究所ではエステル化¹⁻³⁾や日本の伝統的素材である柿渋やベンガラなど⁴⁻⁶⁾による耐水性向上を図ってきた。しかし、それぞれの手法にはメリット・デメリットが存在する。木材のエステル化の代表的なものとして、アセチル化がある。木材をアセチル化すると寸法安定性が向上すること⁷⁾や、処理による材色変化が小さいこと⁸⁾、また、その後の光照射によっても黄変がしないこと⁹⁾などの利点がある一方、処理の設備や廃液処理などにコストがかかること、処理後に、反応が適切に進んだかどうかを簡単に確認することが出来ないなどのデメリットがある。柿渋やベンガラについては、従来から塗料として利用されているため、取り扱いなどは化学修飾に比べて容易ではあるが、木材そのものの材色は消してしまうという欠点がある。

シランカップリング剤とは、分子内に有機材料および無機材料と結合する官能基（有機官能基および加水分解性基）をあわせ持ち、有機材料と無機材料を結合することから、複合材料の機械的強度の向上や接着性の改良などに用いられているだけ

でなく、表面改質にも用いられている^{10,11)}。処理方法は、加熱による脱水縮合反応を引き起こさせるのみなので、比較的取り扱いやすく、材色変化を引き起こすおそれもない。

そこで、本研究では木材の耐水性向上を目的に、木材表面のシランカップリングによる撥水処理を行うための基礎データ収集のため、市販セルロースろ紙に12種のシランカップリング剤を反応させ、その撥水性を接触角測定で評価した。

2. 実験方法

市販のセルロースろ紙（アドバンテック東洋株式会社製、定性ろ紙No.2, ϕ 55mm）を幅約10mm、長さ約50mmに切断した。

シランカップリング剤は次の12種類を準備した。

- 1) ヘキシルトリエトキシシラン ($C_{12}H_{28}O_3Si$)
- 2) ドデシルトリエトキシシラン ($C_{18}H_{40}O_3Si$)
- 3) デシルトリエトキシシラン ($C_{16}H_{36}O_3Si$)
- 4) トリエトキシフルオロシラン ($C_6H_{15}FO_3Si$)
- 5) トリエトキシ (1H,1H,2H,2H-ノナフルオロヘキシル) シラン ($C_{12}H_{19}F_9O_3Si$)
- 6) トリエトキシ-1H,1H,2H,2H-ヘプタデカフルオロデシルシラン ($C_{16}H_{19}F_{17}O_3Si$)
- 7) ブチルトリエトキシシラン ($C_{10}H_{24}O_3Si$)
- 8) オクタデシルトリエトキシシラン ($C_{24}H_{52}O_3Si$)
- 9) トリエトキシエチルシラン ($C_8H_{20}O_3Si$)
- 10) トリメトキシ (1H,1H,2H,2H-パーフルオロ-n-オ

* 試験研究部

クチル) シラン ($C_{11}H_{13}F_{13}O_3Si$)

11)トリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ノナフルオロヘキシル) シラン ($C_9H_{13}F_9O_3Si$)

12)トリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ヘプタデカフルオロデシル) シラン ($C_{13}H_{13}F_{17}O_3Si$)

なお、すべて東京化成工業株式会社製である。

セルロースストリップ3本にシランカップリング剤を約0.5g添着させ、風乾させたのち、105℃24時間乾燥させた。

乾燥後、恒温恒湿室 (23℃50%RH) に静置後、静的接触角を測定した。接触角測定には、自動接触角計 (DMs-200;協和界面科学株式会社) を用いた。試験体表面に蒸留水2.0 μ Lを滴下し、 $\theta/2$ 法で測定した (図1)。測定はそれぞれ、ランダムに5か所行なった。

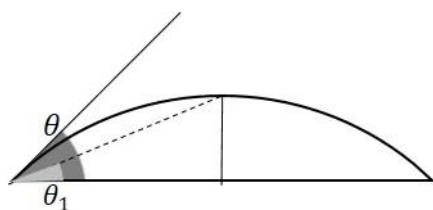


図1 $\theta/2$ 法による接触角測定

3. 結果と考察

図2に撥水処理したセルロースの一例として、カップリング剤にトリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -パーフルオロ- n -オクチル) シランを用いた時の撥水状況を、表1にシランカップリング剤の種類とそれらを用いて処理を行ったときのセルロールの接触角を示す。

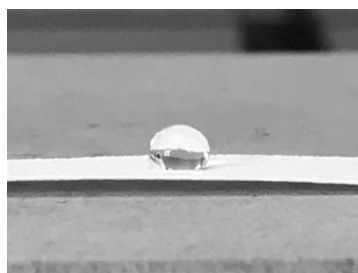


図2 セルロースの撥水処理の一例

アルキル系 (5種) とフルオロ系 (6種) を比較すると、アルキル系の場合、最大接触角は135.8°、最小接触角は111.4°、平均接触角は125.6° $\pm$ 6.1°、フルオロ系の場合、最大接触角は140.7°、最小接触角は70.9°、平均接触角は127.0° $\pm$ 14.9°であった。平均値の検定を行ったところ、アルキル系 (5種) とフルオロ系 (6種) には顕著な差は認められなかった。フルオロ系の中で、トリエトキシフルオ

表1 シランカップリング剤の種類と接触角

シランカップリング剤	接触角 (°)
1)ヘキシルトリエトキシシラン	125.7 $\pm$ 4.2
2)ドデシルトリエトキシシラン	129.3 $\pm$ 3.8
3)デシルトリエトキシシラン	129.5 $\pm$ 3.1
4)トリエトキシフルオロシラン	98.1 $\pm$ 16.5
5)トリエトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ノナフルオロヘキシル) シラン	132.6 $\pm$ 2.2
6)トリエトキシ- $1H,1H,2H,2H$ -ヘプタデカフルオロデシルシラン	129.9 $\pm$ 3.0
7)ブチルトリエトキシシラン	126.8 $\pm$ 4.9
8)オクタデシルトリエトキシシラン	反応せず
9)トリエトキシエチルシラン	116.6 $\pm$ 4.0
10)トリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -パーフルオロ- n -オクチル) シラン	138.3 $\pm$ 2.3
11)トリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ノナフルオロヘキシル) シラン	129.9 $\pm$ 2.7
12)トリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ヘプタデカフルオロデシル) シラン	133.2 $\pm$ 2.9

(mean $\pm$ s. d.)

ロシランについては、特に接触角が小さかった。これは、有機官能基部分がフッ素原子1個であり、撥水性を持たせるための十分な分子鎖がなかったためであると考えられる。そこで、トリエトキシフルオロシランを除いたフルオロ系 (5種) とアルキル系 (5種) を比較した場合、フルオロ系 (5種) の平均は132.7° $\pm$ 4.0°であり、有意差が認められた。

トリエトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ノナフルオロヘキシル) シランとトリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ノナフルオロヘキシル) シラン、およびトリエトキシ- $1H,1H,2H,2H$ -ヘプタデカフルオロデシルシランとトリメトキシ ($1H,1H,2H,2H$ -ヘプタデカフルオロデシル) シランは、それぞれ、有機官能基部分は同じで、加水分解性基がエトキシ基かメトキシ基かの違いである。加水分解後の縮合反応による生成物は同じであることから、接触角についても有意な差は見られなかった。

本研究で用いたアルキル系トリエトキシシランは $CH_3(CH_2)_nSi(OCH_2CH_3)_3$ で表される。そこで、有機官能基鎖長を支配する n と接触角の関係を図3に示す。 $n=1$ の場合、接触角は小さく、官能基鎖長が長くなるにつれ、接触角は大きくなった。フルオロ系においても官能基鎖長が極端に短い (すなわち、トリエトキシフルオロシラン) と、接触角が小さく

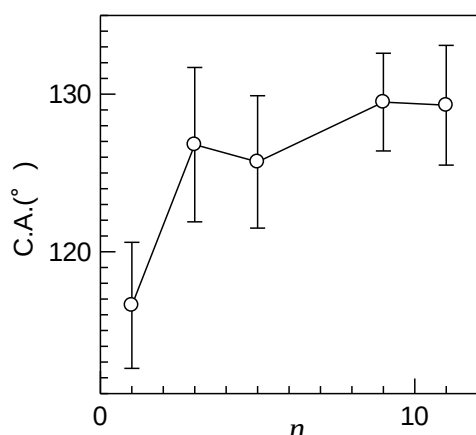


図3 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_3$ (アルキル系トリエトキシシラン) と接触角の関係

なったのと同様である。しかし、 $n=17$ (オクタデシルトリエトキシシラン) の場合、反応しなかったことから、撥水性を発現させるのに適した官能基鎖長があると考えられる。

本研究で測定している接触角は、滴下直後の接触角であり経時変化については詳細に測定を行っていない。フルオロ系処理の場合は長時間水滴を保持することが可能であるが、アルキル系処理の場合は水滴を保持できないことから、接触角の経時変化についても検討する必要がある。また、撥水性の評価には静的接触角のみでなく滑落性（滑落角）についても検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では市販のセルロースろ紙に12種のシランカップリング剤を反応させ、その撥水性を接触角測定で評価した。12種類中、オクタデシルトリエトキシシラン ($\text{C}_{24}\text{H}_{52}\text{O}_3\text{Si}$) についてはセルロースと反応しなかったが、他のシランカップリング剤を用いた場合はセルロースに撥水性を付与することができた。アルキル系シランカップリング剤5種では、平均接触角が約 $117^\circ \sim 130^\circ$ 、フルオロ系シランカップリング剤6種では、接触角約 $98^\circ \sim 138^\circ$ を示した。

参考文献

- 1) 三井勝也, 伊藤国億, 石原智佳: 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.17, pp.20-22, 2015.
- 2) 三井勝也, 伊藤国億, 石原智佳: 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発(第2報) レッドオーク材のアセチル化, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.18, pp.14-16, 2016.
- 3) 三井勝也, 伊藤国億, 石原智佳, 稲垣哲也, 土川寛: 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発(第3報) 近赤外ハイパースペクトラルイメージング法によるアセチル化度の可視化, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.19, pp.9-11, 2017.
- 4) 三井勝也, 伊藤国億: 日本の伝統的素材を用いた木材の耐久性向上技術の開発(第1報) 柿渋とベンガラの混合比と接触角の関係, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.20, pp.31-33, 2018.
- 5) 三井勝也, 伊藤国億: 日本の伝統的素材を用いた木材の耐久性向上技術の開発(第2報) 圧縮回復を利用した柿渋の含浸, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.23-25, 2019.
- 6) 三井勝也, 伊藤国億: 日本の伝統的素材を用いた木材の耐久性向上技術の開発(第3報) 圧縮回復量の予測, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.22, pp.19-20, 2020.
- 7) Hill, C.A.S., Jones, D. : The dimensional stabilization of Corsican pine sapwood by reaction with carboxylic acid anhydrides. *Holzforschung*, Vol.50(5), pp.457-462, 1996.
- 8) Ohkoshi, M : FTIR-PAS study of light-induced changes in the surface of acetylated or polyethylene glycol-impregnated wood, *Journal of Wood Science*, Vol.48(5), pp.394-401, 2002.
- 9) Mitsui, K. : Acetylation of wood causes photobleaching. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Vol.101, pp.210-214, 2010.
- 10) Oyala-Reynoso, S., Chen, J., Chang, B.S., Bolch, J.F., Thuo, M.M. : Surface polymerization of perfluorosilane treatments on paper mitigates HF production upon incineration. *RSC Advances*, Vol.6, pp.82233-82237, 2016.
- 11) Khanjani, P., King, A.W.T., Partl, G.J., Johansson, L.S. : Superhydrophobic paper from nanostructures fluorinated cellulose esters. *ACS applied Materials & Interfaces*, Vol.10, pp.11280-11288, 2018.

幅接ぎ板の反り変形抑制技術の開発に関する研究（第1報） 年輪に着目した幅接ぎ構成手法の提案

今西祐志*

Study on Development of Technology to Prevent Warpage of Edge Glued Boards (I) Method to Consider the Composition of Edge Glue Joints Focusing on Annual Rings

IMANISHI Hiroshi*

幅接ぎ板の温湿度環境変化による反り変形を抑制するため、幅接ぎ用材の含水率変化に伴う変形を年輪から推測し、それを元に配置構成を検討する手法を提案した。いくつかの配置構成と変形予測の結果から、木裏側と木表側を交互に並べる配置でも過大な反りが発生することや、木裏側だけを並べた配置でも反りを小さく抑えられる可能性があることが示唆された。

1. 緒言

食事や休憩時の飲食、読み書きなどの軽作業に使われるテーブルは日常生活に欠かせない家具の一つである。テーブル天板は反り・割れのない平滑な板であることが重要で、さらに色調や形状といった見た目の印象も重視される。幅の狭い木の無垢板を幅方向に接合（幅接ぎ）したテーブル天板では、周囲の温湿度環境の変化に伴って伸び縮みが生じ、時には使用に支障をきたすほどの反りや割れが発生する場合もある。

幅接ぎ用の板材の多くは板目板で、含水率変化による反り変形は、年輪の半径方向と接線方向とで長さ変化率が異なることが主な原因である。板目板は放湿時には木表側（丸太の樹皮側）に反り、吸湿では木裏側（丸太の樹心側）に反りが生じるため、幅接ぎ接着では木裏側と木表側を交互に並べることで、幅接ぎ板の反り量が小さくなるようにするのが一般的である。ただし、そのような構成であっても幅接ぎ板に顕著な反りが生じることがあり、木裏と木表に注意を払うだけでは反りの対策として十分でないと思われる。

本研究では、温湿度環境の変化による幅接ぎ板の反りを小さく抑える技術を開発することを目的とする。本報では、幅接ぎ用材の年輪から含水率変化に伴う反り変形を推測し、それを元に幅接ぎ構

成を検討する手法の提案について示す。

2. 板材の変形

木材の含水率変化による変形の原因としては、年輪の半径方向と接線方向における長さ変化率の異方性、材の組織構造のばらつき、不均一な乾燥によって発生する内部応力などがある¹⁾。ここで取り上げる長さ変化率の異方性については、半径方向と接線方向の比が1:2程度²⁾で、この異方性により、板材の乾燥による収縮では木表側に反りが生じる。また、樹心に近い板材ほど反りが大きくなる。本報では、含水率1%あたりの長さ変化率を半径方向は0.1%、接線方向は0.2%とし、含水率変化は10%MCの低下、年輪は全て同じ中心を持つ真円として変形を考える。

2.1 板材1枚の変形

図1に示す矩形の木口面を持つ板材の場合、板材の幅 (b) と厚さ (h)、板材の中心と樹心との位置関係 (r_x , r_y) から、乾燥後の形状は図2のようになる³⁾。ここでは、変形量を5倍に拡大して示してある。乾燥によって木表側に反りが生じ、四隅に角度変化が生じて歪んでいることが分かる。

図3は、板材の中心と樹心との位置関係によって変形が異なる様子を示したものである。 b は100mm、 h は30mmである。図3(a)と図3(b)のような板目板では r_y/r_x が1より大きく、より r_y が小さい図3(a)の方が反りは大きい。幅接ぎ接着で図3(a)のような

* 試験研究部

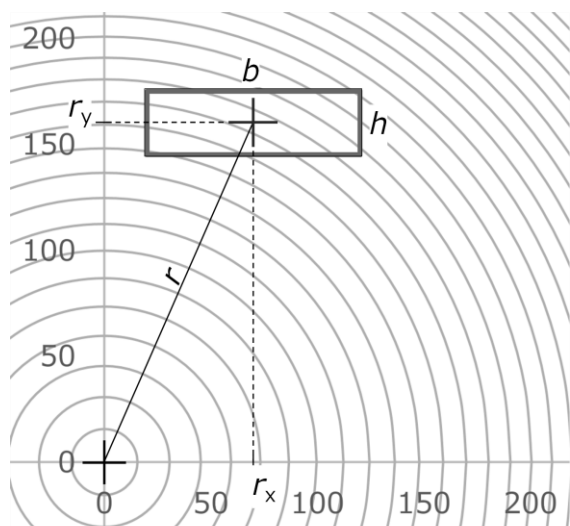


図1 板材の例

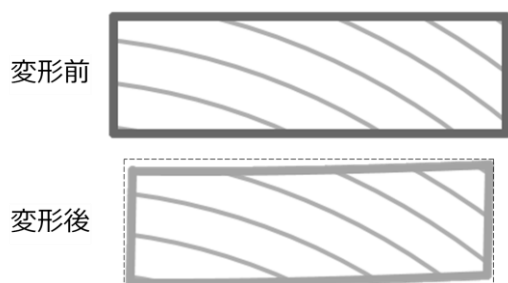


図2 板材の変形（変形量5倍表示）

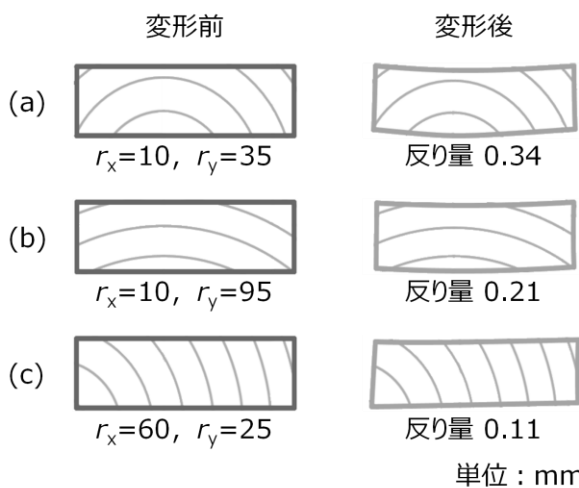


図3 樹心との位置関係による板材の変形の違い（変形量5倍表示）

材を中央付近に配置すると、幅接ぎ板全体の反り変形に及ぼす影響が大きくなると考えられるため、縁部に配置したり、隣接する材とで反りを相殺したりするような配慮が必要である。

2.2 板材2枚の幅接ぎ板の変形

前述のように、乾燥による板材の変形は、木表側の反りと四隅の角度変化である。図1に示した板材2枚の幅接ぎ接着を考える場合、木裏と木表を互い違いに並べる方法は図4のような2通りである。右側の板材はそれぞれ、紙面の表裏の方向に反転させた関係にある。各板材の変形は図2に示す通りであり、その幅接ぎ面が一致するよう幅接ぎ板全体の形状を考えると図5のようになる。変形量は5倍に拡大して示してある。各幅接ぎ板の形状を比較すると、下段の幅接ぎ板では幅接ぎ面での折れ曲がりが見え、全体として大きな変形が生じている。これは、幅接ぎ用材の反りの抑制を考える上で、板材の木裏と木表に注意するだけでは不十分で、板材の配置を検討する際に年輪を考慮に入れることで、過大な反り変形の回避が期待できることを示している。

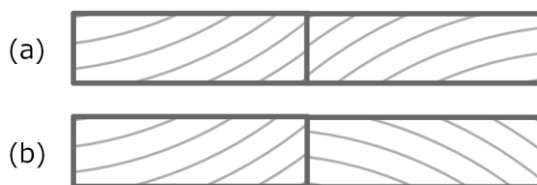


図4 板材2枚の幅接ぎ（木裏と木表を互い違いに並べる場合）



図5 板材2枚による幅接ぎ板の変形（木裏と木表を互い違いに並べる場合、変形量5倍表示）

3. 板材の年輪と幅接ぎ板の変形

幅10cm程度の幅接ぎ用材10枚を幅接ぎ接着する場合を想定し、板材の配置構成によって幅接ぎ板に生じる反り変形がどのように変わるかを検討した。幅接ぎ用材の寸法と年輪を調べ、乾燥による変形の様子を計算により求めたものを図6に示す。これら10枚の板材を幅接ぎ接着することを考える場合、配置構成の数は非常に多いが、まずは前述の板材1枚の反り及び歪みが小さいものを中央寄りに配置して並び順を決定した。次に木裏と木表が交互に並ぶようにした上で、各板材を紙面の表裏の方向に反転させる操作を繰り返して幅接ぎ板の変

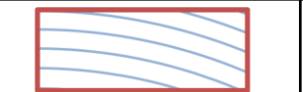
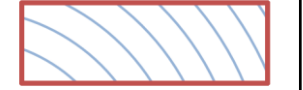
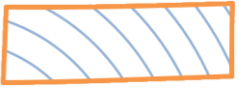
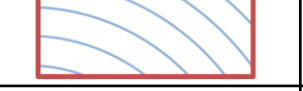
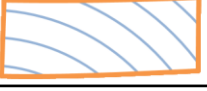
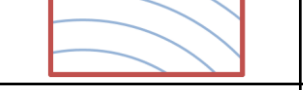
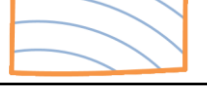
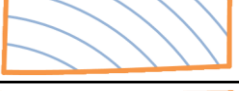
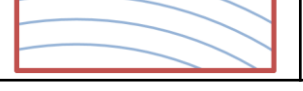
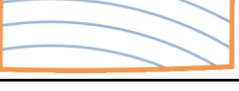
木口画像	変形前	b [mm]	h [mm]	r_x [mm]	r_y [mm]	変形後
		94.4	36.1	48.2	236.8	
		129.9	36.0	44.7	99.8	
		124.2	36.1	80.7	260.9	
		110.8	36.3	80.9	71.3	
		91.2	35.9	106.3	265.8	
		86.4	35.9	169.0	222.6	
		96.7	36.1	53.0	86.4	
		86.4	36.1	28.7	80.2	
		110.6	36.1	64.5	90.8	
		115.8	36.0	30.9	154.1	

図6 幅接ぎ用材の寸法と年輪についての情報、変形（変形量5倍表示）

形後の形状を検討した。同様に、木裏だけが幅接ぎ板の上面に並ぶようにした場合についても検討した。

図7に、木裏と木表が交互に並ぶようにした場合の幅接ぎ板の変形の様子を示す。変形は、幅接ぎ板を構成する各板材の縁部の中央を直線で結んで示してある。図中の矢印は、各板材の中心に対する樹心のおよその方向を示したものである。矢印の並び順を見ると、上段では右上-左下（↗↘）の繰り返しになっているが、下段では左上-右下（↖↙）の繰り返しと左下-右上（↙↗）の繰り返しが半分ずつの構成になっている。高さ方向変位の最大値は、上段では0.33mm、下段では1.59mmで、約5倍もの差がある。下段の場合については反り率（幅方向長さに対する高さ方向変位の最大値の比）が0.15であり、過度な反りの発生を避けるために一般的に行われている木裏と木表を交互に並べた配置構成であっ

ても、反りの問題が発生しうることを示唆している。

図8は、図7と同様に幅接ぎ板の変形の様子を示したものであるが、ここでは木裏だけが幅接ぎ板の上面に並ぶようにしたものについて示す。各板材の中心に対する樹心のおよその方向を示した矢印は、上段の左半分では左上-右上（↖↗）で、右半分はその左右対称の並びになっている。下段の矢印の向きは、左半分が右上（↗）で、右半分はその左右対称の向きになっている。上段の高さ方向変位の最大値は0.42mmで、これは木裏と木表を交互に並べなくとも反りが発生しにくい配置構成にできることを示唆している。下段の高さ方向変位の最大値は2.82mmで、図7の木裏と木表を交互に並べた場合に比べてかなり大きい。木裏だけを幅接ぎ板の上面に並べる場合、適切な配置構成であれば反り変形を小さく抑えることが出来る一方で、適

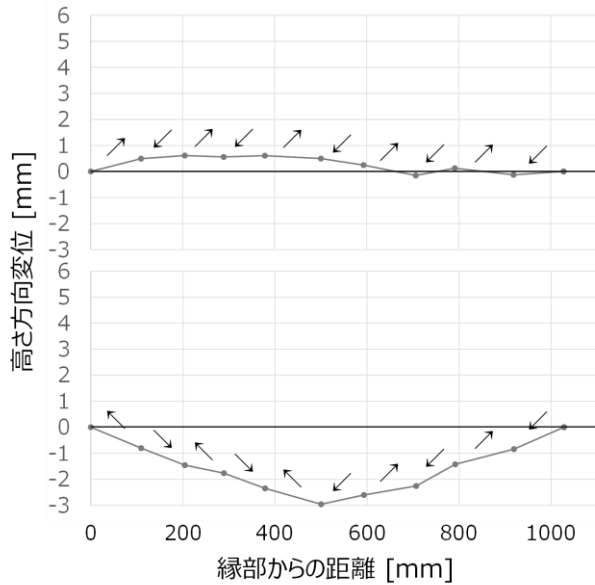


図7 幅接ぎ板の変形（木裏と木表を交互に並べた場合）

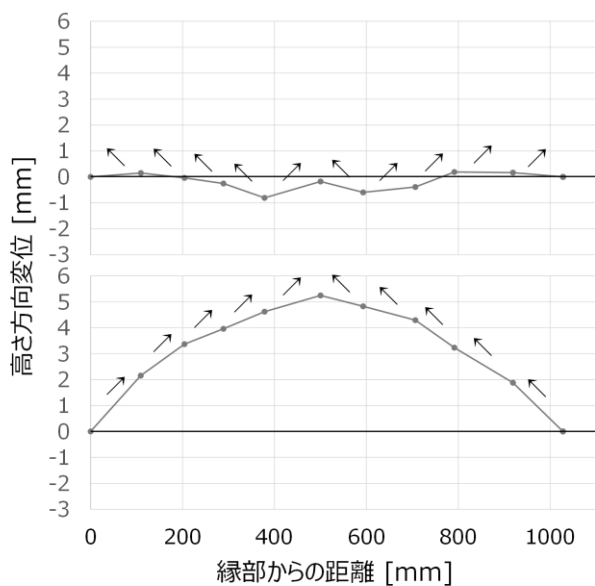


図8 幅接ぎ板の変形（木裏だけを上面に並べた場合）

切でない構成の場合には大きな反りが発生する危険性があると考えられる。

4. まとめ

幅接ぎ板の温湿度環境変化による反りを小さく抑える技術を開発することを目的として、幅接ぎ用材の含水率変化に伴う変形を年輪から推測し、それを元に配置構成を検討する手法を提案した。いくつかの配置構成と変形予測の結果から、幅接ぎ板の反りの問題を避けるために一般的に行われる木裏側と木表側を交互に並べる配置でも過大な反りが発生しうることや、木裏側だけを並べた配置でも反りを小さく抑えられる可能性があることが示唆された。

幅接ぎ接着における配置構成について、各板材の年輪に着目した検討手法について様々な知見を得ることができたが、その妥当性については次報にて報告する。

参考文献

- 1) 井阪三郎：木材の狂いについて，材料，Vol.12, No.121, pp.695-698, 1963.
- 2) 伏谷賢美ら：“木材の物理”，文永堂出版，pp.61, 1985.
- 3) 井阪三郎，梅原誠：木材の狂いに関する研究特に板目板の反りについて，林業試験場研究報告，Vol.71, pp.121-136, 1954.

実大投影画像を用いた木製天板の色合わせ指針の検討

山口穂高^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}, 吉田宏昭^{*2}

Study on Color Matching Guide of Wooden Top Boards Using Full-scale Projected Image

YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, FUJIMAKI Goroh^{*1}, YOSHIDA Hidoaki^{*2}

これまで職人の目視に頼っている木製天板の色合わせを数値化して指針を算出することは有意であるが、自然物で大きな対象である木製天板の実物を用いて、その色合わせの程度を系統的に調整することは困難である。本報告では、できるだけ臨場感を損なわず、かつ、系統的にサンプルを展開するために、コンピュータシミュレーションで作成した画像とプロジェクターを用いてサンプル画像を実物大で提示する手法を採用し、隣接材の明暗の違いと天板内の空間周波数を変数とした視覚的な印象評価実験を行った。その結果、天板として「シンプル」「一般的な」印象を与えるには、隣接材の明暗の差を小さくすることが重要であることが分かった。また、隣接材の明暗がある程度あっても、天板内の空間周波数を4分割にすることで、「一般的な」印象を高められることが示唆された。

1. 緒言

製品の価値には機能、信頼性、価格といった基本的な製品価値のほかに、作り手と使い手の共感を生むような感性価値が提案されている¹⁾。岐阜県の木製家具の基本的な製品価値においては、例えば、飛騨の家具認証において強度試験の実施が義務付けられているように²⁾、すでに一定以上付与されていると考えられる。そこで本研究では、木製品に感性価値を付与する製品開発に着目した。製品の感性価値を高めることは、対象を人が評価した際の印象や生理反応を数値化し、設計にフィードバックするという感性工学の手法を活用することで実現できると考えられる³⁾。

本研究で対象とする木製品は、ダイニングテーブル用の木製天板とし、評価対象とする感性価値は木目柄の見た目の印象とした。具体的には、木製天板の幅はぎ工程における個々の木材(エレメント)間の色合わせの程度を人の主観的な印象と対応させることを試みた。これは、木製天板の幅はぎ工程は、現状では職人の目視に頼っており、消費者の所望する木目柄の印象を数値化することが求められているためである。

一方で、木製天板のような自然物でかつ大型の対象物において設計値を系統的に変更したサン

プルを調整するのは困難である。これを解決するためには実験刺激にコンピュータ・グラフィックス(以下、CG)技術によって加工した画像を用いることが考えられるが、画像の提示方法によっては実物の評価よりも臨場感が損なわれるといったデメリットがある。そこで本研究では、できる限り臨場感を損なわずに木製天板の印象評価ができるように、プロジェクターを用いて、水平面に実大相当のサイズで木製天板の画像を投影する手法を採用した。

本報告は以下の2つの実験より構成される。ひとつ目は、投影画像を用いた印象評価の妥当性の検討であり、ふたつ目は、色合わせの程度をCGによって系統的に調整した投影画像の印象評価実験である。本研究の目的は、投影画像を用いた印象評価の妥当性を確認したうえで、木製天板の幅はぎ工程における色合わせの程度と主観評価の対応を明らかにすることである。

2. 天板の投影画像を用いた感性評価の妥当性

2.1 方法

まず、木目柄の異なるダイニングテーブルのサンプルとして、図1に示す3枚の天板(1,500×850 mm)を用意した。これらはいずれもレッドオーク(*Quercus rubra*)のまさ目材を幅方向にはぎ合わせた木製天板であった。これらのサンプルを用いて、実物の見た目の印象を評価する実験と、サ

^{*1} 試験研究部 ^{*2} 信州大学繊維学部

サンプルを撮影した画像をプロジェクターによって投影した際の見た目の印象を評価する実験を行い、両者の結果を比較した。

印象評価実験の様子を図2に示す。実物の評価は照明を統制できる実験室内で行った。サンプルを黒色布で覆った高さ 720 mm のテーブルの中央部に設置し、上部に照明装置（THOUSLITE LEDCube）を設置した。サンプル中央での照明環境は、照度 711 lx、色温度 6,475 K、色偏差 0.0026、CIE Ra 96.8であった。被験者はサンプルの長辺が横になる向きで高さ 430 mmの椅子に着座してサンプルを観察した。投影画像の評価は、前述と同じテーブルに敷いた白色紙（EPSON MC マット合成紙2）にサンプルの画像を超単焦点プロジェクター（RICOH PJ WX4153, 解像度: 1,280 × 800）によって投影することで実施した。投影の際は室内の照明を消灯したが、被験者の観察方法は実物の評価と同様にした。

それぞれの実験において、被験者には評価用語の調査⁴⁾の結果から選定した11用語（シンプルな、ランダムな、あたたかい、きれいな、おしゃれな、一般的な、個性的な、違和感のある、ダイニングテーブルに適する（以下、DTに適する）、好き、嫌い）について、サンプルの見た目の印象を評価させた。評価にはvisual analog scaleを用いた。長さ100mmの線分を用意し、左端に「全くない」、右端に「非常に」の用語を対応させ、被験者には印象に対応する位置に印を記入させた。解析の際は線分の左端から印までの距離を1mm単位で計測し、評価値とした。

この実験の被験者は10名（男性7名、女性3名、 44.7 ± 8.0 歳）であり、同じ10名が別日に実物の評価実験と投影画像の評価実験を行った。

2.2 結果と考察

実物の評価と投影画像の評価において各サンプルの平均評価値を求めた結果を図3に示す。まず、実物の評価に着目すると、天板Bと天板Cの評価は類似しており、「ランダムな」「個性的な」「違和感のある」という評価を得たことがわかる。逆に天板Aは「シンプルな」「きれいな」「一般的な」「DTに適する」と評価された。これらのサンプル間の相対的な評価傾向は投影画像の評価においてもある程度対応しており、「シンプルな」「ランダムな」「個性的な」の評価用語では実物の評価と投影画像の評価において評価の傾向が一致している。一方で、より総合的な評価用語である「違和感のある」「DTに適する」「好き」「嫌

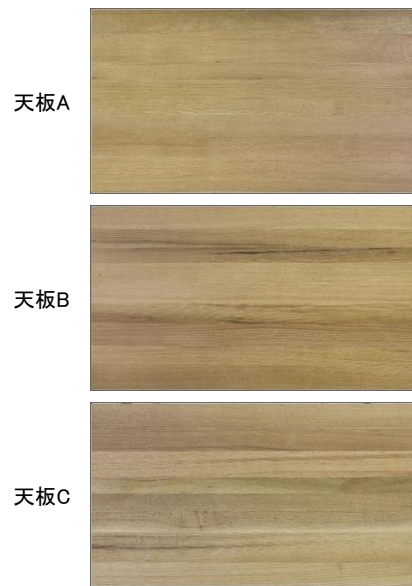


図1 実物サンプルとして用いた幅はぎ天板



図2 印象評価実験の様子
（上：実物の評価、下：投影画像の評価）

い」においては実物の評価傾向と投影画像の評価傾向に差がみられる。

続いて、各サンプルにおいて実物の評価と投影画像の評価を比較し、評価値の差の絶対値を求めた（図4）。この結果より、天板Aの評価での誤差は全体的に小さいことがわかる。また、天板Bと天板Cにおいては、評価用語によっては誤差が大きく表れているものがある。天板Bでは、「きれ

いな」「おしゃれな」「一般的な」といった抽象的な印象の用語と「違和感のある」「DTに適する」「好き」「嫌い」といった総合的な評価の用語において比較的誤差が大きかった。天板Cでは「あたたかい」と「違和感のある」の評価では比較的誤差が大きかった。

以上の結果より、「シンプルな」「ランダムな」といった見た目の均一さ／不均一さと対応すると考えられる用語⁵⁾の評価においては、投影画像を用いた評価でも実物の評価と同等の結果が得られたといえる。したがって、各評価用語のうち、より低次な印象である物理的特徴と対応する評価用語は、投影画像を用いた評価でも十分に評価が可能だと考えられる。また、天板の柄によっては誤差が大きくなる可能性もあるが、「一般的な」「個性的な」といった、他のサンプルと比較するような評価用語でも実物の評価と投影画像の評価との誤差が少ないと考えられる。一方で、特に天板B、天板Cのような複雑な意匠を有するサンプルにおいて、特に「好き」「嫌い」などの総合的な評価用語で実物の評価と投影画像の評価との対応が低かった。この理由として、より高次の総合評価を判断する段階では、シンプルかランダムかといった単純で包括的な評価だけでなく、細かな木目模様や局所的な節といった、細部の印象の評価も加味されており、それらがプロジェクターを用いた投影画像では表現しきれなかったことが考えられる。

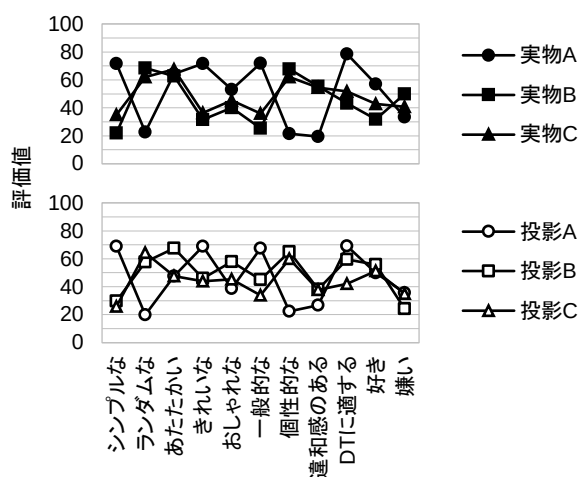


図3 実物評価と投影画像評価における各サンプルの平均評価値

(上：実物評価、下：投影画像の評価、n=10)

3. 色合わせの程度が異なる木製天板の評価

3.1 方法

本研究では、サンプルの木目柄は固定し、色合わせの程度のみを系統的に展開する必要がある。木目柄の固定については、実物の天板を撮影して得られたエレメント画像を木製天板のCGの原稿とし、その原稿を投影サイズ1200×640mmのキャンバス上に短辺方向へ8枚並べることで実現した。本研究で用いた原稿は図1の天板A～Cの画像からエレメントごとに切り出した画像20枚のうち、できるだけ節や柄の変化の少ない8枚とした。続いて、色合わせの系統的な展開については、今西ら⁵⁾の方法を用いて行った。この手法では、まず、カラー画像である原稿をモノクロ化する。その後、エレメント間の色味をそろえるために当該エレメントの平均輝度と輝度の標準偏差によって各画素の輝度を標準化し、新たに任意の平均輝度と標準偏差を与えた画像を生成するといった手順が実行される。また、モノクロ画像をカラー画像に変換する際には、各画素の輝度に任意に定めたRGB値の範囲を比例分配することで行う。

以上の手法を用い、本研究では、等幅の8枚のエレメントから構成される木製天板において、明暗の分割数（2分割、4分割、8分割）と明暗の差（1 σ 、2 σ 、3 σ ）を変数とした。分割数は8枚のエレメントのどの境界で明暗の差をつけるかを表しており、明暗の差の程度はエレメント間の平均輝度の差を表している。本研究では、平均輝度の差として、天板A～Cに含まれるエレメントの20枚分の平均輝度の標準偏差（ $\sigma=14$ ）の何倍かで示した。一方で、木目の目立ち具合を表すエレメントごとの標準偏差と色を表すRGBの範囲は固定した。以上より、本研究に用いた9枚のCG画像は、木目柄とその木目の目立ち具合は統一されたうえで、明暗の差が表れる境界の数とその程度を系統的に調整されたこととなる。図5に本研究で用いたCG画像9枚を示す。9枚のCG画像の印象評価は2.1の投影画像の評価と同様の方法で行った。ただし、結果については、2.2より評価の妥当性が高いと結論づけられた、「シンプルな」「ランダムな」「一般的な」「個性的な」の4つの評価用語についてのみ示す。この実験の被験者は2.と同様の10名（男性7名、女性3名、44.7±8.0歳）および大学生16名（男性8名、女性8名、23.2±0.9歳）の26名とした。

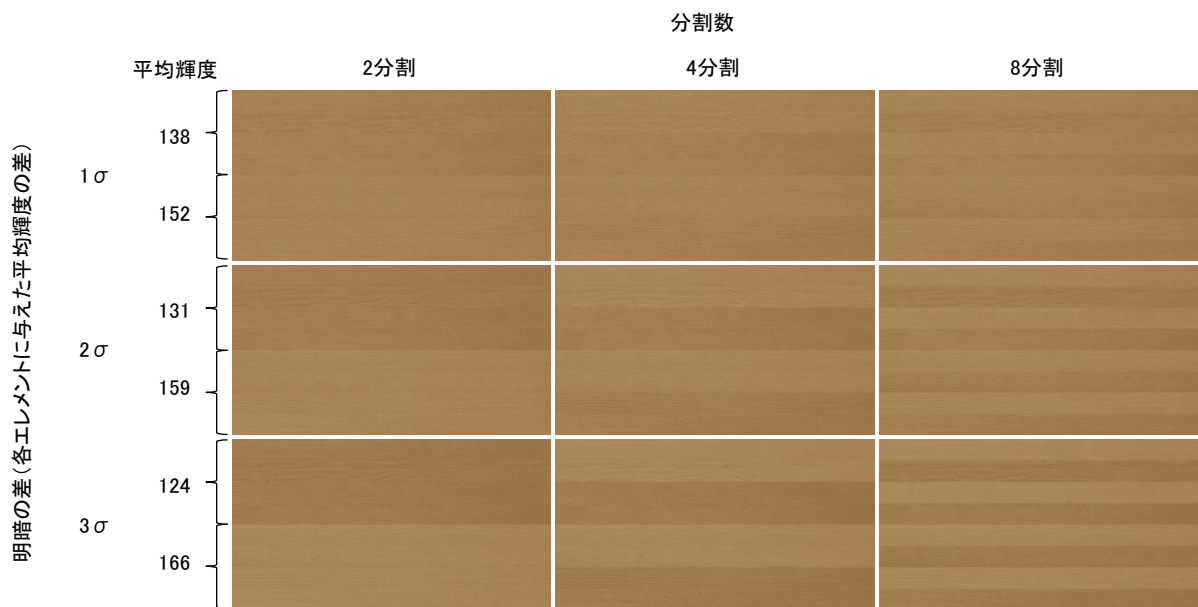


図5 CGによって生成した木製天板のサンプル画像

3.2 結果と考察

各評価用語における評価値の平均値と標準偏差を図6に示す。この結果より、「シンプルな」と「ランダムな」、「一般的な」と「個性的な」において、おおむね対応した評価傾向がみられる。また、各評価用語において、明暗の差と分割数を要因とする二元配置分散分析を行った結果、各評価用語において、明暗の差と分割数の主効果が有意であり、交互作用は有意でなかった（表1）。

「シンプルな」の評価においては、明暗の差が小さく、かつ、分割数の少ないサンプルのほうが高評価であることがわかる。「ランダムな」の評価は、「シンプルな」の評価と逆の傾向を示しているが、一方で、明暗の差の影響は少ないと考えられる。また、「ランダムな」の評価は全体的に低値であった。これは、本研究で用いたCG画像が周期的に明暗の差をつけたサンプルであったため、柄に規則性があり、「ランダムな」と評価されにくかったためであると考えられる。

「一般的な」の評価は明暗の差が小さいサンプル群で評価が高く、逆に、それらのサンプルは「個性的な」の評価が低値であった。このことから、エレメント間の明暗の差が小さいサンプルのほうが「一般的」な印象を与えられと考えられる。一方で、明暗の差が大きい2σと3σのサンプル群においては、2分割のサンプルおよび8分割のサンプルよりも4分割のサンプルのほうが一般的で個性的でないという評価を得たことがわかる。このことから、縞模様の周波数には適値があると考えられる。これは、幅はぎ材の色合わせを行う際

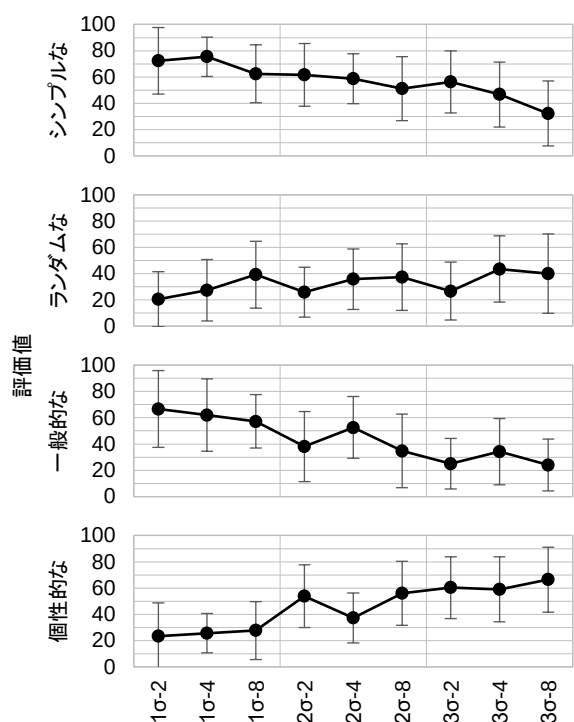


図6 CG画像の印象評価結果
(平均値と標準偏差、n=26)

表1 二元配置分散分析のp値
(n=26、n.s.:有意差なし、*:p<.05、*:p<.01)

	明暗の差	分割数	交互作用
シンプルな	< 0.001**	< 0.001**	0.118n.s.
ランダムな	0.0239*	< 0.001**	0.267n.s.
一般的な	< 0.001**	0.0062**	0.199n.s.
個性的な	< 0.001**	0.0227*	0.144n.s.

に、一枚板の辺材と心材の色味のグラデーションを参考として、中央部を淡色に、周辺部を濃色にするという慣例があるためだと考えられる。

以上より、幅はぎ材の色合わせ工程において、例えば「一般的」な印象を与える木製天板を製造するためには、エレメント間の明暗の差を小さくすることが重要であると考えられる。また、明暗の差がある程度ある場合には、エレメントの並び順を工夫し、明暗の周期が4分割程度にすることで、「一般的」な印象を高められると考えられる。

一方で、本研究における明暗の差はあくまで画像データにおける輝度によってコントロールしており、実際に投影され、被験者が観察したCG画像の色味を数値化したものではない。今後は、画像の輝度と提示画像の色味を対応させ、さらに実際の木材の色味と対応付けるプロセスを検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、木製品の感性価値を高めることを目指して、木製天板の色合わせ工程の程度と主観評価との対応を調査した。その際、木製天板の見た目を系統的に変更し、かつ臨場感を保った評価を行うために、シミュレーション画像を実大サイズで投影して評価する手法を採用した。

まず、実物の木製天板を評価する実験と同じサンプルをプロジェクターで投影した画像を評価する実験を行い、その評価の差を考察した。その結果、投影画像を用いた木製天板の印象評価実験では、「シンプルな」「ランダムな」のような物理的な評価用語と「一般的」「個性的な」のような他のサンプルと比較するような評価用語において、実物の評価と同等の評価が可能であることが示唆された。したがって、実物サンプルの調整が困難な木製天板などの対象を評価する手法として、プロジェクターを用いた投影画像の評価は有用であるといえる。一方で、抽象的な印象や総合評価においては、特に木目柄が複雑なサンプルで実物と投影画像の評価の誤差が大きかったため、投影画像による評価は初期段階に行い、最終評価は実物を用いることが望ましいといえる。

続いて、木製天板の色合わせ工程の程度を系統的に展開して印象評価実験を実施するために、コンピュータ上で木目柄と木目の目立ち具合を統一したまま、エレメント間の明暗の差と分割数を調整したCG画像を9枚生成した。それらをプロジェクターで投影して印象評価を行った結果、「一般的」と「個性的な」の評価はおおむね対応しており、明暗の差が小さいほうが「一般的」の

評価が高く、「個性的な」の評価が低かった。一方で、明暗の差があるサンプルにおいては、4分割のサンプルのほうが2分割および8分割のサンプルよりも「一般的」の評価が高かったことから、「一般的」と感じられる木製天板の分割数には適値があると考えられた。以上より、例えば、ダイニングテーブルとして一般的な印象を付与した木製天板を製造したい場合は、エレメント間の明暗の差を小さくし、天板内の濃淡の変化の周期を2周期（4分割）程度にすることが有効であると考えられる。

一方で、本研究における明暗の差の程度はあくまで画像データにおける輝度によって調整したため、実物の木材の色味との対応は未検証である。また、本研究で用いた分割パターン以外にもエレメントの配置のパターンは無数に存在する。投影画像を用いた評価のメリットの一つにCGによって簡易にサンプルパターンを増やすことが可能な点があげられるため、今後はエレメントの配置パターンを増やした研究を展開していくことが有効である。

謝辞

実験刺激の生成方法について多くの助言をいただき、また、木材の柄合わせパターン生成プログラムをご提供いただきました京都大学大学院農学研究科の仲村匡司教授に感謝の意を表します。また、実験の遂行に多大な協力をいただいた日高亜美氏、実験に参加していただいた皆様に感謝いたします。

本研究は一般財団法人越山科学技術財団の研究助成金（臨場感のある居住性評価手法を用いた木製家具の感性評価）を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 経済産業省編：感性価値創造イニシアティブ 第四の価値軸の提案，財団法人経済産業調査会，2007.
- 2) 協同組合飛騨木工連合会編：飛騨の家具ものがたり，2012.
- 3) 長沢伸也：感性をめぐる商品開発—その方法と実際，日本出版サービス，2002.
- 4) 山口穂高ほか：ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出（第2報）柄の異なる木製天板を評価する用語の調査，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.21，pp.38-42，2019.
- 5) 今西真佑奈，仲村匡司：様々なコントラストを有する木質フロアパターンの視覚効果，木材学会誌，Vol.65，No.3，pp.138-147，2019.

令和 2 年度 岐阜県生活技術研究所研究報告

No. 23 2021

令和 3 年 月発行

編集・発行者 岐阜県生活技術研究所
〒506-0058
岐阜県高山市山田町 1554 番地
TEL 〈0577〉 33-5252
FAX 〈0577〉 33-0747

印 刷 ○○○○株式会社